



L' Hydrothermalisme en domaine continental. Fonctionnement, ressource et patrimoine

Stéphanie Gallino, Christophe Gauchon

► To cite this version:

Stéphanie Gallino, Christophe Gauchon. L' Hydrothermalisme en domaine continental. Fonctionnement, ressource et patrimoine. Collection EDYTEM - n° 9, pp.112, 2009. halsde-00453369

HAL Id: halsde-00453369

<https://hal.science/halsde-00453369>

Submitted on 27 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

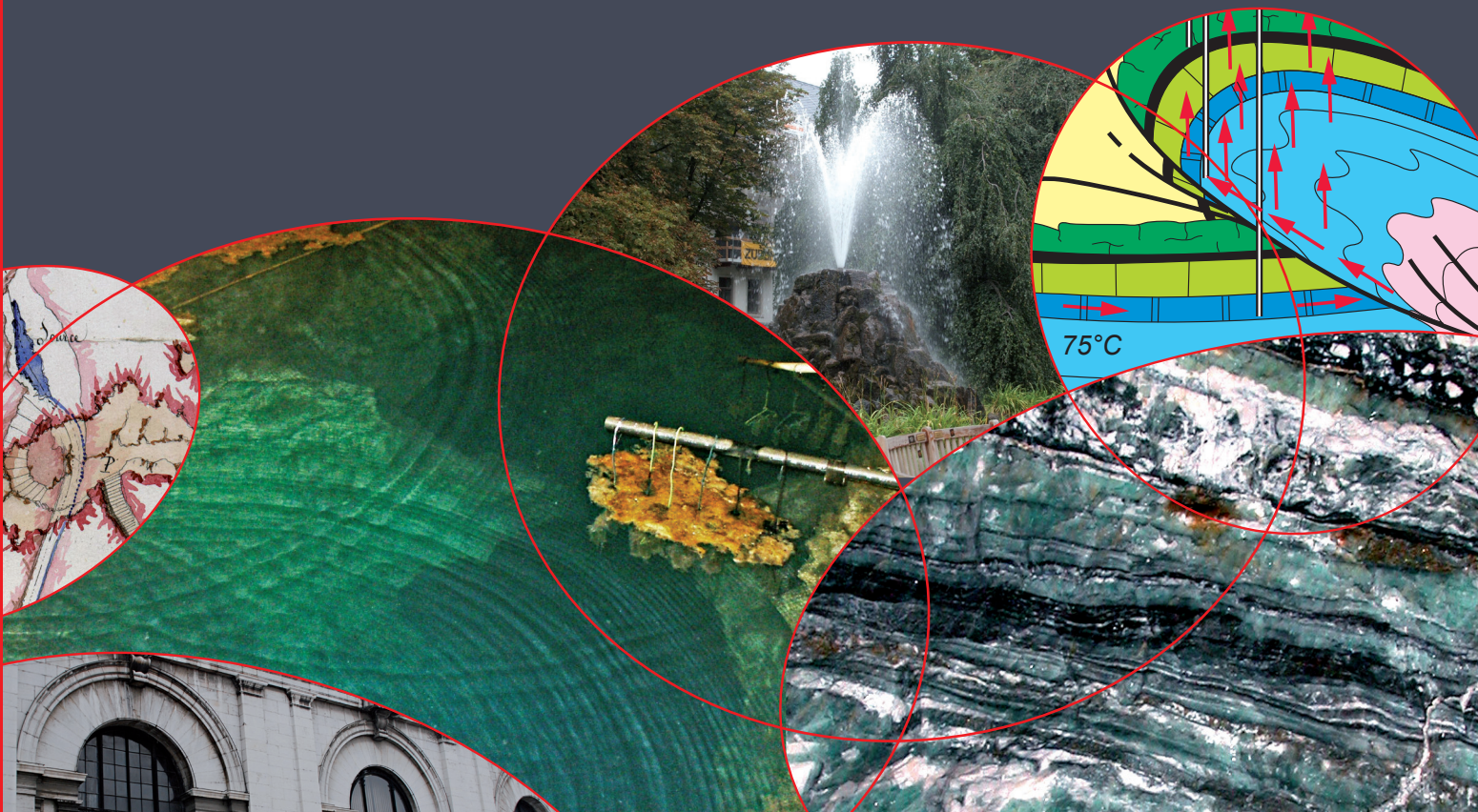
Collection
EDYTEM

Numéro 9 - Année 2009

Coordination
Stéphanie Gallino
et Christophe Gauchon

L' HYDROTHERMALISME en DOMAINE CONTINENTAL

Fonctionnement, ressource et patrimoine



Numéro 9 - Année 2009

L' HYDROTHERMALISME en DOMAINE CONTINENTAL

Fonctionnement, ressource et patrimoine

Coordination de l'ouvrage : Stéphanie Gallino et Christophe Gauchon

Comité éditorial de la Collection EDYTEM : Laurent ASTRADE (dir.), Jean-Jacques DELANNOY, Philip DELINE, Mélanie DUVAL, Marc DZIKOWSKI, Dominique GASQUET, Christophe GAUCHON, André PAILLET, Yves PERRETTE, Véronique PEYRACHE-GADEAU, Georges-Marie SAULNIER.

Comité de rédaction : Stéphanie GALLINO, Christophe GAUCHON

Comité de lecture du présent numéro : Jean-Michel BERTRAND (LGCA, Université de Savoie), Antoine BEYER (Université Paris IV-Sorbonne), Vincent BIOT (EDYTEM, Séquence Nature Rhône-Alpes), Daniel BOULENS (Direction des Espaces verts, Lyon), Yannick BRANQUET (ISTO, Université d'Orléans), Sylvie BRETAGNON (Musée des sciences médicales, Grenoble), Claude CAILLAT (AREVA), Jean-Charles CARFANTAN (Université de Savoie), Alain CHEILLETZ (CRPG, Nancy), Jean-François CONNILLE (Président de la Société d'Art et d'Histoire d'Aix-les-Bains), Véronique DURAND (IDES, Université Paris sud), Fabien HOBLÉA, Pierre JUDET (Université Pierre Mendès-France, Grenoble), Kevin SUTTON, Marion VIVIER (Centre d'Histoire de la Résistance et de la Déportation, Lyon).

Mise en page : André PAILLET

Les personnes ci-dessus, citées sans indication de structure d'appartenance, sont membres du laboratoire EDYTEM.

NB : Les points de vue et conclusions développés dans les articles n'engagent que leurs auteurs.

La publication de ce volume a bénéficié du soutien financier du Laboratoire EDYTEM (UMR 5204, CNRS/Université de Savoie).

Imprimé par : Albert Brailly, ZI des Dragiez, 110 Rue des Vergers, 74800 La Roche-sur-Foron.

Exemplaires disponibles au Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie, Campus scientifique,
F 73 376 Le Bourget-du-Lac Cedex, ou auprès de : sec-edytem@univ-savoie.fr

Site web du laboratoire : <http://edytem.univ-savoie.fr/>

On trouvera à la fin de cet ouvrage la présentation de l'ensemble des publications du Laboratoire EDYTEM

Dépôt légal : décembre 2009

ISSN : 1762-4304 - ISBN : 978-2-918435-01-3 - EAN : 9782918435013

Editorial

La Collection EDYTEM vise à faire connaître les recherches menées au sein du laboratoire et issues de la démarche interdisciplinaire qui fédère bon nombre d'actions et de projets du laboratoire. Ce numéro est une illustration de cette dynamique portée, ici, par l'axe « Systèmes hydrothermaux de montagne » qui a organisé en octobre 2008 un colloque sur « Hydrothermalisme en domaine continental ». Cette réunion scientifique, sous l'égide de la Société Géologique de France, a rassemblé une centaine de participants, une quinzaine d'institutions et établissements universitaires français et une douzaine d'institutions étrangères. Le nombre de communicants (41) souligne l'intérêt d'une approche croisée de l'hydrothermalisme. Il est intéressant de relever la diversité des communautés scientifiques présentes au colloque et la présence, aux côtés des chercheurs, d'acteurs socio-économiques et de responsables de services travaillant sur le thermalisme et les eaux minérales.

Cette diversité est l'expression des actions de recherche que mène l'axe « systèmes hydrothermaux de montagne » : répondre par la production de nouvelles connaissances aux problématiques actuelles de gestion des eaux et des sites hydrothermaux. Lors des deux années qui ont précédé ce colloque, trois thèses ont été soutenues au sein du laboratoire, qui avaient permis de conforter cet axe de recherche et de consolider les relations entre EDYTEM et le secteur du thermalisme. Ainsi les travaux d'Anne GUYOMARD sur Evian (soutenance : mai 2006), ceux de Stéphanie GALLINO sur Aix-les-Bains (décembre 2007) et d'Emilie THIÉBAUD sur La Léchère (février 2008) avaient utilement balisé la voie qui allait être suivie par ce colloque, en abordant les problèmes de fonctionnement et de vulnérabilité des systèmes hydrothermaux des pays de Savoie.

Ce numéro « Hydrothermalisme en domaine continental » regroupe une partie des communications du colloque ; d'autres contributions seront publiées dans le Bulletin de la Société Géologique de France (n°4, 2010). Je remercie les auteurs qui ont fait le choix de publier dans ce numéro apportant ainsi un soutien fort à notre démarche et à la Collection EDYTEM. L'ensemble du laboratoire est sensible à cet appui issu des différents champs disciplinaires présents au colloque.

Je remercie l'ensemble des collègues du laboratoire pour leur contribution dans l'organisation du colloque et de ce numéro. J'exprime mes plus vifs remerciements à Stéphanie GALLINO et Christophe GAUCHON pour la coordination de ce numéro, ainsi qu'à Laurent ASTRADE pour son engagement dans le développement de la Collection EDYTEM et André PAILLET pour la mise en page et la facture de ce nouveau numéro. Je remercie chaleureusement les collègues qui ont relu les articles dans un temps record. Cette coopération est précieuse et nous sommes conscients de ce qu'elle apporte à notre laboratoire.

Bonne lecture.

Jean-Jacques DELANNOY
Directeur du laboratoire EDYTEM

Introduction

L'hydrothermalisme constitue depuis 2006 l'un des trois axes de recherche transversaux du laboratoire EDYTEM. Cet axe rassemble, autour de l'étude des systèmes hydrothermaux de montagne, des chercheurs venus de disciplines et de sensibilités différentes.

Le numéro 9 de la Collection EDYTEM regroupe une partie des communications présentées lors du colloque « Hydrothermalisme en domaine continental ». D'autres publications paraîtront dans le Bulletin de la Société Géologique de France (n°4 - 2010, juillet-août). Cette séance spécialisée, organisée sous l'égide de la Société Géologique de France s'est déroulée les 23 et 24 octobre 2008 dans les nouveaux locaux du pôle montagne, sur le campus du Bourget-du-Lac, où le laboratoire EDYTEM venait de s'installer.

L'objectif de ce colloque était de poser la question de l'hydrothermalisme d'une façon interdisciplinaire et à diverses échelles de temps : depuis l'analyse des filons minéralisés, témoins de circulations thermales anciennes, jusqu'à l'étude des eaux thermales actuelles, en passant par l'approche patrimoniale et la prise en compte des vulnérabilités.

Le volume s'ouvre sur la contribution de B. BLAVOUX qui pose la question de la vulnérabilité de la ressource thermique actuelle : comment la gestion durable d'une telle ressource passe-t-elle par la connaissance du circuit souterrain de ces eaux et des mécanismes de ces circulations ?

Puis la première partie de ces Actes, intitulée « Fonctionnement et Ressource », rassemble des articles consacrés au paléo-hydrothermalisme : en effet, l'étude minéralogique et géochimique de filons minéralisés permet de reconstruire l'historique des paléo-circulations de fluides thermaux au sein d'un massif rocheux, dans un contexte de paléo-karsts (M. BOUABDELLAH), de pluton granitique (A. BOUSHABA et C. MARIGNAC) ou d'une manière plus générale à l'échelle des chaînes de montagne marocaines (D. GASQUET et A. CHEILLETZ).

La seconde partie, « Ressource et Patrimoine », s'intéresse quant à elle aux aspects patrimoniaux et architecturaux qui gravitent autour du thermalisme et surtout des stations thermales. Les publications présentées traitent donc des différents aménagements fonctionnels propres aux stations thermales, parmi lesquelles les gares (P. DESMICHEL) et les parcs et jardins (C. BAUDEAN) qui sont étroitement liés à l'histoire des stations et qui ont acquis une indéniable valeur patrimoniale. La station d'Aix-les-Bains est évoquée dans une dimension touristique liée à la mise en valeur des grottes (C. GAUCHON) et dans une dimension architecturale avec l'histoire édifiante du solarium tournant complétant les soins apportés aux curistes (C. RAYNAL et T. LEFEBVRE). Enfin l'histoire très particulière des bains de l'Échaillon en Maurienne est minutieusement retracée (P. GENELETTI et J. ASPORD).

Nous adressons donc nos remerciements aux auteurs et aux relecteurs qui ont contribué à la qualité des travaux présentés dans ce volume.

Stéphanie GALLINO, Dominique GASQUET et Christophe GAUCHON

Hydrothermalisme en domaine continental

Séance spécialisée de la Société Géologique de France organisée par le laboratoire EDYTEM

Aix-les-Bains – Le Bourget-du-Lac 23-24 octobre 2008

Liste des participants au colloque et des auteurs (en gras)

ABIDI Riadh, Université de Bizerte (Tunisie), <i>abidi1riadh@yahoo.com</i>	
ANTONI-NOBECOURT (d') Jean-Claude, <i>jcnobecourt@free.fr</i>	
ARBARET Laurent, Université d'Orléans, <i>Laurent.Arbaret@univ-orleans.fr</i>	
ASPORD Jean , Ingénieur EDF	97
AUDIGANE Pascal, BRGM, <i>p.audigane@brgm.fr</i>	
AUDRA Philippe, <i>audra@unice.fr</i>	
BARBANSON Luc, Université d'Orléans, <i>Luc.Barbanson@univ-orleans.fr</i>	
BARBET Christine, Société Danone Eaux France, <i>christine.barbet@danone.com</i>	
BARKAOUI Alae-Eddine, Université d'Oujda (Maroc)	
BASCOMPTE CANALS Fermí, Generalitat de Catalunya (Espagne), <i>fbascompte@gencat.cat</i>	
BEAUDEAN Colette , Service régional de l'Inventaire Alsace, <i>colette.beaudean@gmail.com</i>	99
BEAUFORT Daniel, Université de Poitiers, <i>daniel.beaufort@univ-poitiers.fr</i>	
BIGOT Jean-Yves, <i>catherine.arnoux@club-internet.fr</i>	
BLAVOUX Bernard , Université d'Avignon, <i>bernard.blavoux@gmail.com</i>	11
BLIGNY Jean-Christophe, Société Danone Eaux France, <i>jean-christophe.bligny@danone.com</i>	
BONTÉ Damien, Université d'Amsterdam (Pays-Bas), <i>dam.bonte@gmail.com</i>	
BOUCHOT Vincent, BRGM, <i>v.bouchot@brgm.fr</i>	
BOUGHRIBA Mimoun, Université d'Oujda (Maroc)	
BOURGINE Bernard, BRGM, <i>b.bourgine@brgm.fr</i>	
BOUABDELLAH Mohammed , Géologie, Fac. des Sciences, B.P. 524, 60000 Oujda, Maroc, <i>mbouabdellah2002@yahoo.fr</i>	23
BOUSHABA Abdellah , Université de Fès (Maroc), <i>boushaba@caramail.com</i>	33
BRANQUET Yannick, Université d'Orléans, <i>yannick.branquet@univ-orleans.fr</i>	
CARNEIRO Júlio, Université d'Evora (Portugal)	
CHEILLETZ ALAIN , Ecole de Géologie Nancy, <i>cheille@crpg.cnrs-nancy.fr</i>	49
CORREIA António	
COURTOIS Nathalie, BRGM, <i>n.courtois@brgm.fr</i>	
CUEILLE Sophie, Service régional de l'Inventaire Ile de France, <i>Sophie.cueille@iledefrance.fr</i>	
DELANNOY Jean-Jacques, Université de Savoie, <i>jean-jacques.delannoy@univ-savoie.fr</i>	
DESMICHEL Pascal , Université de Clermont-Ferrand, <i>Pascal.DESMICHEL@univ-bpclermont.fr</i>	59
DEWANDEL Benoît, BRGM, <i>b.dewandel@brgm.fr</i>	
DEWIT Julie, Université de Louvain (Belgique), <i>Julie.Dewit@ees.kuleuven.be</i>	
DOTSIKA Elisabeth, Université d'Athènes (Grèce)	
DOUEZ Olivier, BRGM, <i>o.douez@brgm.fr</i>	
DUPUY Alain, Université de Bordeaux, <i>alain.dupuy@egid.u-bordeaux3.fr</i>	
DURIEZ Alban, Université de Paris Sud, <i>alban.duriez@u-psud.fr</i>	
DZIKOWSKI Marc, Université de Savoie, <i>marc.dzikowski@univ-savoie.fr</i>	
ELDURSI Khalifa, Université d'Orléans, <i>khalifa.el_dursi@univ-orleans.fr</i>	
ELLAM Rob M., Université de Kilbride (Ecosse)	
ESSALHI Mourad, Université d'Orléans, <i>mourad.essalhi@univ-orleans.fr</i>	
FONTVIEILLE Dominique, Université de Savoie, <i>dfont@univ-savoie.fr</i>	
FRIEH-GIRAUD Geneviève, <i>laroseaie73@wanadoo.fr</i>	
GAITAZ Amandine, <i>gaitazamandine@yahoo.fr</i>	
GAL Frédérick, BRGM	
GALLINO Stéphanie, Université de Savoie, <i>stephanie.gallino@univ-savoie.fr</i>	
GARCIA Daniel, Ecole des Mines Saint Etienne, <i>garcia@emse.fr</i>	
GARIBALDI Cynthia, BRGM, <i>c.garibaldi@brgm.fr</i>	
GASQUET Dominique , Université de Savoie, <i>dominique.gasquet@univ-savoie.fr</i>	49
GAUCHON Christophe , Université de Savoie, <i>christophe.gauchon@univ-savoie.fr</i>	77
GENELETTI Pierre , Société d'Histoire et d'Archéologie de Maurienne, <i>pierre.geneletti@wanadoo.fr</i>	97
GENNA Antonin, BRGM, <i>a.genna@brgm.fr</i>	

GLEESON Sarah A., Université d'Alberta (Canada)

GODDE Yves, Service régional de l'Inventaire Rhône Alpes, ygodde@rhonealpes.fr

GUILLOU-FROTTIER Laurent, BRGM, l.guillou-frottier@brgm.fr

HATIRA Nouri, Université de Bizerte (Tunisie), nouri_hatira@yahoo.fr

HOBLEA Fabien, Université de Savoie, fabien.hoblea@univ-savoie.fr

IBRAGIMOVA Irada, Université de Baku (Azerbaïdjan), irada_ibragimova@yahoo.com

JAZE-CHARVOLIN Marie-Reine, Service régional de l'Inventaire Rhône Alpes, mrjaze@rhonealpes.fr

JOSNIN Jean-Yves, Université de Savoie, jean-yves.josnin@univ-savoie.fr

LACHASSAGNE Patrick, Société Danone Eaux France, patrick.lachassagne@danone.com

LADOUCHE Bernard, BRGM, b.ladouce@brgm.fr

LAHRACH Abderrahim, Université de Fès (Maroc)

LARDEAUX Jean-Marc, BRGM, jean-marc.lardeaux@unice.fr

LARIDHI OUAZAA Nejia, Université de Tunis (Tunisie), nejia_ouazaa@yahoo.fr

LE HEC Cathy, Société Danone Eaux France, cathy.lehec@danone.com

LE STRAT Paul, BRGM, p.lestrat@brgm.fr

LEFEBVRE Thierry, Université Paris 7, tlefeb@univ-paris-diderot.fr 89

LIONS Julie, BRGM, j.lions@brgm.fr

LOPEZ Simon, BRGM, s.lopez@brgm.fr

LUCAZEAU Francis, Institut de Physique du Globe Paris, lucazeau@ipgp.jussieu.fr

MARIGNAC Christian, Ecole des Mines Nancy, Marignac@mines.inpl-nancy.fr 33

MARLIN Christelle, Université de Paris Sud, christelle.marlin@u-psud.fr

MATTOUSSI KORT Hanene, Université de Tunis (Tunisie), mkhanen@yahoo.fr

MAURICE-BLANC Cécile, Université de Savoie, cecile.maurice-blanc@univ-savoie.fr

MENARD Gilles, Université de Savoie, gilles.menard@univ-savoie.fr

MENOT René-Pierre, Université de Saint-Etienne, menot@univ-st-etienne.fr

MOREL Jean-Luc, Université de Paris Sud

NADER Fadi Henri, Institut Français du Pétrole, fadi-henri.nader@ifp.fr

PATRIER Patricia, Université de Poitiers, patricia.patrier@univ-poitiers.fr

PERRACHE Chantal, Université de Saint-Etienne, perrache@univ-st-etienne.fr

PUJOLRIU FONT Lluïsa, Generalitat de Catalunya (Espagne), wpujolri@gencat.cat

RAYNAL Cécile, raynal.cecile363@orange.fr 89

RENAC Christophe, Université de Saint-Etienne, renac@univ-st-etienne.fr

RIGAULT Cécile, Université de Poitiers, cecile.rigault@etu.univ-poitiers.fr

RIMI Abdelkrim, Université de Rabat (Maroc)

ROLLAND Yann, Université de Nice, yrolland@unice.fr

ROSSI Magali, Université de Savoie, magali.rossi@univ-savoie.fr

SHAH Mumtaz Muhammad, Institut Français du Pétrole, mumtaz-muhammad.shah@ifp.fr

SIZARET Stanislas, Université d'Orléans, stanislas.sizaret@univ-orleans.fr

SLIM-SHIMI Najet, Université de Tunis (Tunisie), najetshimi@yahoo.fr

SONNEY Romain, Université de Neuchâtel (Suisse), romain.sonney@crege.ch

SQUARCIONI Patrice, Société HydroInvest

SWENNEN Rudy, Université de Louvain (Belgique), rudy.swennen@geo.kuleuven.be

THIEBAUD Emilie, Université de Savoie, emilie.thiebaud@univ-savoie.fr

VALL ROSSELLÓ Eduard, Generalitat de Catalunya (Espagne), evall@gencat.cat

VAN WEES Jan-Diederick, Jan_Diederik.vanWees@tno.nl

VERDOYA Massimo, Université de Gênes (Italie)

VIDAL Olivier, Université de Grenoble, ovidal@ujf-grenoble.fr

VIEILLARD Philippe, Université de Poitiers, philippe.vieillard@univ-poitiers.fr

VUATAZ François-David, Université de Neuchâtel (Suisse), francois.vuataz@unine.ch

ZARHLOULE Yassine, Université d'Oujda (Maroc), zarhloule@yahoo.fr

Sommaire

Editorial	3
Introduction	5
Liste des participants au colloque et des auteurs	6
Les structures à l'origine du patrimoine thermal français et leur fonctionnement. Indications pour la protection de la ressource, par BERNARD BLAVOUX	11
1 - FONCTIONNEMENT ET RESSOURCE	21
Les paléo-karsts hydrothermaux à remplissage de sulfures du district de Touissit-Bou Beker (Maroc nord oriental) : origine(s) et implication(s), par MOHAMMED BOUABDELLAH	23
La nature des fluides hydrothermaux des tourmalinites du massif granitique permien du Ment (Maroc central). Couplage de la minéralogie des tourmalines et de l'étude des inclusions fluides, par ABDELLAH BOUSHABA et CHRISTIAN MARIGNAC	33
L'hydrothermalisme : un phénomène cyclique dans les temps géologiques. Conséquences pour la prospection minière au Maroc, par DOMINIQUE GASQUET et ALAIN CHEILLETZ	49
2 - RESSOURCE ET PATRIMOINE	57
Les gares ferroviaires, un patrimoine thermal à part entière. Le cas de l'Auvergne et des Pyrénées occidentales, par PASCAL DESMICHEL	59
Parc et thermalisme en milieu transfrontalier : influences et dissemblances dans un contexte franco-allemand, par COLETTE BEAUDÉAN	69
Les grottes, éléments du patrimoine des stations thermales : le cas d'Aix-les-Bains, par CHRISTOPHE GAUCHON	77
Le Solarium tournant du D ^r Saidman : un complément à la cure thermique d'Aix-les-Bains, par CÉCILE RAYNAL et THIERRY LEFEBVRE	89
La station thermale et les eaux de l'Échaillon à Saint-Jean-de-Maurienne, par PIERRE GENELETTI et JEAN ASPORD	97

LES STRUCTURES A L'ORIGINE DU PATRIMOINE THERMAL FRANÇAIS ET LEUR FONCTIONNEMENT

INDICATIONS POUR LA PROTECTION DE LA RESSOURCE

STRUCTURE, FUNCTIONING AND PROTECTION OF THE THERMAL CIRCUIT

BERNARD BLAVOUX

Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 33 rue Louis Pasteur, F 84000 Avignon.

Bernard.blavoux@univ-avignon.fr

RÉSUMÉ

La France est riche en sources thermales et ce patrimoine doit être protégé. Le circuit thermal est une structure géologique traversée par un flux d'eau qui y acquiert sa température élevée et sa minéralisation. On peut décomposer ce parcours en trois grandes étapes, une aire d'alimentation avec infiltration d'eau de pluie, une colonne de percolation vaste en volume et à circulation très lente et un axe drainant qui permet à l'eau de remonter rapidement en conservant pour l'essentiel ses caractéristiques. Les conditions à remplir sont un passage en profondeur (des milliers de mètres), une continuité hydraulique avec un fort dénivelé entre aire de recharge et aire d'émergences et une étanchéité du circuit. Quelques exemples français illustrant ces conditions sont présentés en distinguant le domaine cristallin (chaîne axiale pyrénéenne et Massif Central français) et le domaine sédimentaire (bordure des grands bassins sédimentaires et régions fortement plissées de l'avant-pays alpin et pyrénéen). La protection quantitative de la ressource veille à ce que des ouvrages, tunnels, mines ou forages géothermiques ne détournent le flux souterrain ou à ce que des travaux, aménagements hydrauliques ou déforestation ne viennent perturber les écoulements dans la zone d'infiltration. La protection qualitative s'exerce en priorité dans la zone d'émergences où se produisent les mélanges de l'eau thermique avec les eaux superficielles. Pour éviter la pollution, la mise en place d'un périmètre sanitaire est la solution réglementaire. On a aussi souvent recours à un forage interceptant le drain thermal avant ses divergences. La source thermique est peu concernée par la protection éloignée de son impluvium à cause de son temps de transit particulièrement long (des milliers d'années).

MOTS-CLÉS : SOURCES THERMALES, FRANCE, STRUCTURES GÉOLOGIQUES, CIRCUIT HYDROTHERMAL, PROTECTION DE LA RESSOURCE.

ABSTRACT

The French territory is rich in thermal waters and this patrimony must be protected. The thermal circuit is a geological structure wherein water, as it percolates, will obtain its high temperature and its mineral content. A pattern of this functioning is proposed, including a meteoric recharge area, a large column of percolation and a vertical groundwater drain allowing a fast ascension of the thermal water. A deep path of groundwater (thousands meters), a hydraulic continuity with a strong difference in level between the recharge and discharge areas, a confined aquifer are the necessary conditions to obtain a thermal circuit. Some examples of French geological structures are reviewed, on one side the crystalline field (Pyrenean axial chain and French Massif Central) and on another side the sedimentary field (the border of great sedimentary basins and the strongly folded and faulted regions of the north Pyrenean zone and Prealpes). The quantitative protection of the resource consists in preserving the groundwater flow. Indeed, important tunnels, mining and geothermal drilling could divert the thermal water; hydraulic works and deforestation could remove or disturb the recharge. The qualitative protection applies in priority in the springs areas where the thermal water is mixing with shallow waters. In order to avoid the pollution, the delimitation of a sanitary perimeter is the regular solution. It is also possible to drill a borehole to intercept the thermal drain before it divides near the surface. The distant qualitative protection of the infiltration area doesn't concern the thermal circuit because of its deep flow path of several thousands years.

KEYWORDS: THERMOMINERAL WATERS, FRANCE, GEOLOGICAL STRUCTURES, THERMAL WATER CIRCUIT, PROTECTING.

INTRODUCTION

La France est riche en sources minérales, de températures, de concentrations et de compositions très variées. Elle le doit à la diversité de sa géologie et à la proximité de l'orogénèse alpine qui entretient une tectonique active. L'eau minérale est en France la matière première de deux industries, l'embouteillage et le thermalisme. Il convient d'apprécier la dimension patrimoniale du thermalisme à deux titres, celui de patrimoine naturel rare aux bienfaits pour la santé et celui de patrimoine architectural remarquable hérité pour l'essentiel de la grande époque de la fin du XIX^e siècle. Il convient aussi d'apprécier les espoirs que le thermalisme porte pour le maintien d'une vie économique dans des zones rurales et de montagne où bien souvent aucune autre activité notable ne pourrait trouver place selon les critères actuels.

Aussi la qualité de l'eau et la protection de la ressource restent un objectif majeur des hydrogéologues, les études et travaux depuis quelques dizaines d'années (géochimie, isotopes, modélisations, forages profonds) ayant en effet permis de replacer le gisement thermal dans l'hydrosystème global, comme une séquence du cycle de l'eau.

L'appellation de source thermique que nous utilisons cumule les deux qualificatifs, d'eau chaude dont la température est significativement supérieure à la température moyenne annuelle de l'air et d'eau minérale utilisée dans un établissement thermal. Les originalités de cet hydrosystème et les mécanismes de son fonctionnement sont présentés ici.

I - LE FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT THERMAL

On a pu montrer à l'aide des isotopes stables de la molécule d'eau (oxygène 18 et deutérium) que toutes les sources thermales françaises ont pour origine les pluies infiltrées dans leur environnement régional (Blavoux, 1995). Les structures concernées sont donc affectées par un flux d'entrée et de sortie caractérisant un écoulement et non par une accumulation comme dans un gisement. La matière minérale exploitée est constituée par l'eau qui sert de solvant et de vecteur au contenu minéral (minéralisation) et à la température. Il s'agit donc d'une ressource renouvelable à la différence encore d'un gisement. C'est pourquoi à l'appel-

lation de gisement thermal on préfère celle de circuit ou hydrosystème thermal.

On peut décomposer ce circuit en trois grandes étapes (Figure 1) (Blavoux et Berthier, 1985).

1 - Une aire d'alimentation avec infiltration d'eau de pluie appelée aussi impluvium

C'est au cours de cette étape que l'eau de pluie acquiert à la traversée du sol dans une atmosphère riche en CO₂ biogénique son potentiel de dissolution vis-

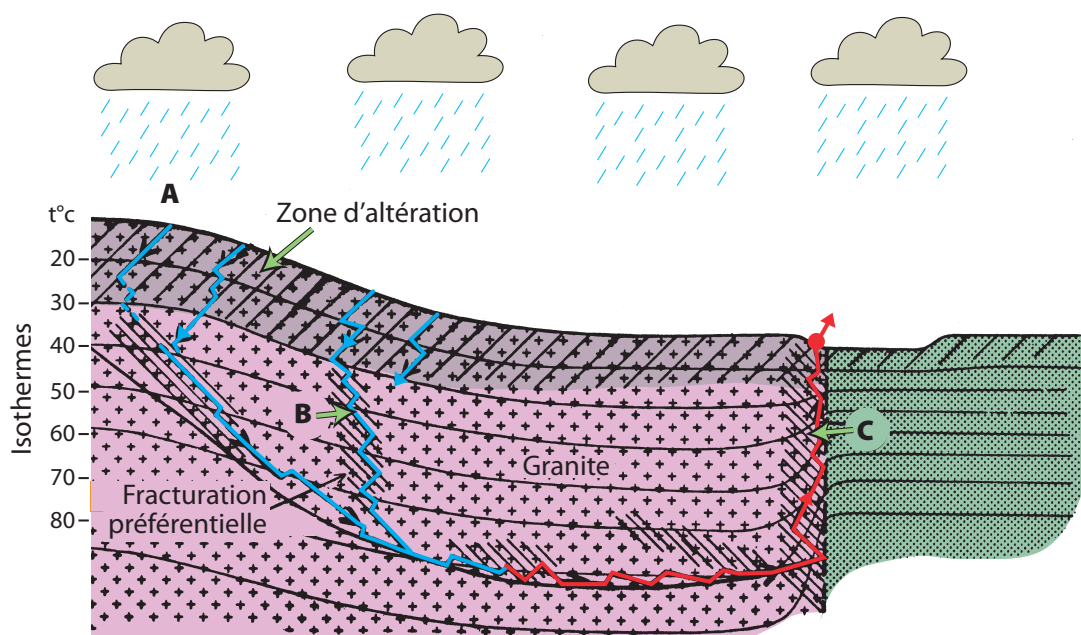


Figure 1 - Schéma type du circuit de l'eau thermique.

A - Aire d'alimentation ; B - Réseau d'infiltration ; C - Drain de collecte et zone d'émergence.

à-vis des roches rencontrées dans la suite de son parcours ; à l'exception toutefois des eaux carbogazeuses où des flux de CO₂ rejoignent le circuit en profondeur.

2 - Un réseau ou colonne de percolation

Ce réseau permet à l'eau entrée d'atteindre des profondeurs importantes et donc des températures élevées. Vaste en volume et à circulation très lente, il permet en général à l'eau d'être en fin d'enfoncement en équilibre thermique et géochimique avec son encaissant. C'est un des postulats de la géothermométrie. Cette colonne de percolation dans le cas d'un socle cristallin est constituée par un réseau de fissures et fractures qui se poursuit bien en deçà de la zone d'altération superficielle (les 50 premiers mètres) par la fracturation préférentielle acquise par le massif au cours de son histoire tectonique. La rencontre d'une fracture conductrice par un forage à grande profondeur reste toutefois aléatoire et ne fournira que de faibles débits. Dans le cas de structures sédimentaires qui seront décrites plus avant, les propriétés capacitatives et conductrices de la colonne de percolation sont assurées par la porosité ouverte et/ou la microfissuration de formations perméables en petit et en situation de captivité. Il s'agit alors d'un véritable réservoir que l'on peut tenter d'atteindre avec un forage profond avec des espoirs de débit conséquent.

II - LES STRUCTURES GEOLOGIQUES A L'ORIGINE DU PATRIMOINE THERMAL

Les conditions à remplir pour que se manifeste un hydrosystème thermal sont un passage en profondeur pour y acquérir la température, une continuité hydraulique avec un fort dénivelé (le moteur) entre colonne descendante de percolation et drain ascendant de collecte et une étanchéité du circuit sur la totalité ou une grande partie du parcours.

Les séries géologiques sont soumises à un flux de chaleur issu pour partie du manteau (30%) et pour partie de la désintégration radioactive des minéraux des roches magmatiques de l'écorce (70%). Ce flux géothermique est un transfert permanent de calories depuis la profondeur jusqu'en surface qui maintient en température les séries géologiques. L'élévation de température depuis la surface vers la profondeur s'exprime par le gradient géothermique qui est le rapport entre le flux géothermique et la conductivité des roches traversées. Plus communément, c'est la profondeur à laquelle on s'enfonce pour observer une augmentation de 1°C : 31 m en moyenne en France, mais 50 m au pied des Pyrénées et 10 m pour le Nord de l'Alsace. La température calculée à l'aide des géothermomètres peut être ainsi traduite en profondeur du circuit.

La continuité hydraulique n'exige pas forcément une seule et même formation géologique mais peut être établie à travers des séries aquifères différentes grâce

3 - Un axe vertical de collecte

Il agit en drain, sorte de court circuit hydraulique ouvert entre la zone profonde et la surface permettant à l'eau thermique de remonter rapidement en conservant pour l'essentiel la température et la minéralisation acquises en profondeur. La conservation de la composition chimique est le second fondement de la géothermométrie.

La différence d'altitude entre l'aire d'alimentation et la zone d'émergences fournit l'élément moteur au circuit thermal. Cette différence doit être sensible pour compenser les fortes pertes de charge au cours du parcours souterrain. C'est le cas en région de montagne où les très forts dénivelés entre sommets bien arrosés et profondes vallées glaciaires permettent de pousser les eaux infiltrées jusqu'à plusieurs kilomètres de profondeur. L'effet moteur de cette différence de charge hydraulique est augmenté, le cas échéant, par l'élévation importante de température dans la partie profonde et terminale du circuit qui provoque une baisse de densité de l'eau et de façon accessoire une baisse de la viscosité. Dans d'autres cas, le dégagement important de gaz carbonique provoqué par la baisse de pression de l'eau lors de sa remontée peut entretenir ou déclencher l'artésianisme par effet gaz lift.

à des relais variés et parfois complexes. En domaine sédimentaire, il est nécessaire que la colonne d'infiltration soit une formation aquifère captive sous une couverture imperméable de façon à conduire l'eau en profondeur. En domaine de socle cristallin, cette condition n'est pas toujours remplie et c'est le réseau de fractures qui permet l'enfoncement d'une petite fraction des eaux infiltrées.

1 - Les structures du domaine cristallin

Les sources thermales dans le domaine cristallin et tout particulièrement celles issues du granite sont nombreuses en France (Figure 2). Elles se manifestent dans la zone axiale pyrénéenne comme dans le Massif Central à l'Est du sillon houiller et dans les Vosges, des massifs hercyniens bousculés par l'orogénèse alpine. Elles résultent d'un circuit à très grande profondeur, jusqu'à 5 à 7 km comme l'attestent les géothermomètres et en corollaire de très longue durée, jusqu'à 15 000 ans comme l'indiquent quelques datations au carbone 14. La conduite des eaux infiltrées jusqu'à très grande profondeur est possible grâce à la fracturation héritée de l'orogénèse hercynienne et réactivée lors des orogénèses pyrénéenne et alpine. Cependant

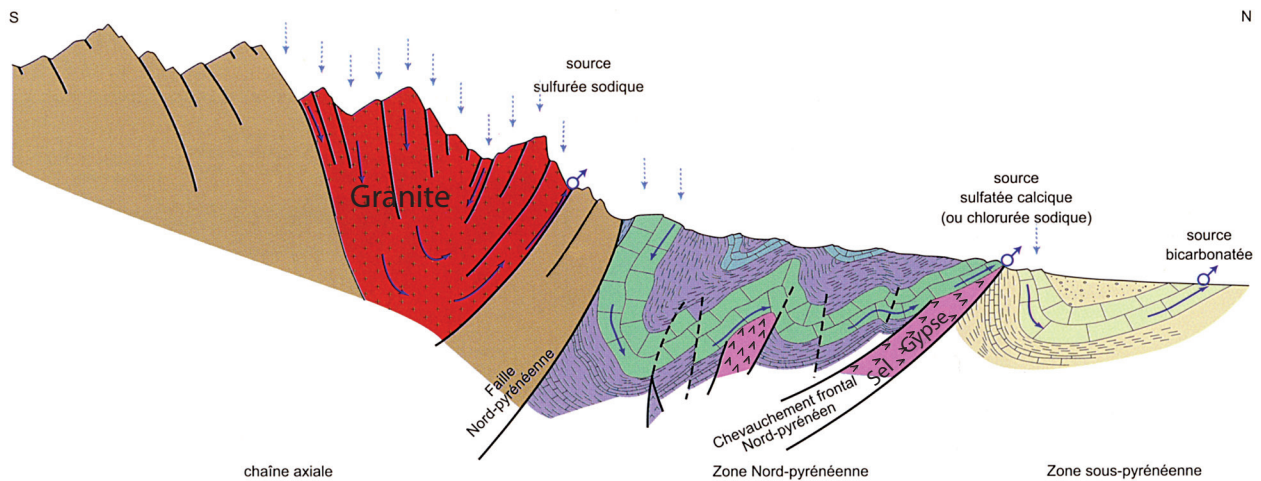


Figure 3 - Schéma hydrogéologique des différents types d'eau thermique des Pyrénées.

Figure parue dans «Aquifères et eaux souterraines en France», Tome 2, Dir. J.-C. Roux, 2006, BRGM éd.

débit qui sont bloquées dans leur progression par la juxtaposition au-delà de la faille bordière de sédiments tertiaires imperméables (Figure 4)

2 - Les structures du domaine sédimentaire

En domaine sédimentaire, le circuit thermal est alimenté par la branche descendante assez pentue d'une structure synclinale comprenant une couche perméable affleurant en partie haute du système et très rapidement captive. Ce conduit permet l'enfoncement des eaux infiltrées jusqu'au cœur de la structure où elles acquièrent leur température et leur minéralisation. De là diverses conditions naturelles peuvent permettre à

l'eau thermique de rejoindre les points bas de surface de façon suffisamment rapide pour conserver une partie de sa température. Cela peut se faire dans la continuité de la structure, dans une gouttière synclinale asymétrique avec des couches redressées voire fracturées. En région très plissée, le synclinal peut être interrompu par de grands accidents verticaux, par des plis-failles à flanc inverse très étiré ou par des surfaces de chevauchement qui servent de drains aux écoulements ou bien peuvent permettre le déversement dans une autre formation aquifère sus jacente. A la différence du domaine cristallin, les flux qui traversent les structures sédimentaires concernent la totalité de l'eau infiltrée sur les affleurements et peuvent donner lieu à des débits élevés si la conductance du drain terminal le permet.

Les structures de continuité se situent en bordure des grands bassins sédimentaires français, le sud du bassin d'Aquitaine, le grand bassin du Sud-est, le bassin parisien à l'ouest des Vosges et le fossé Rhénan

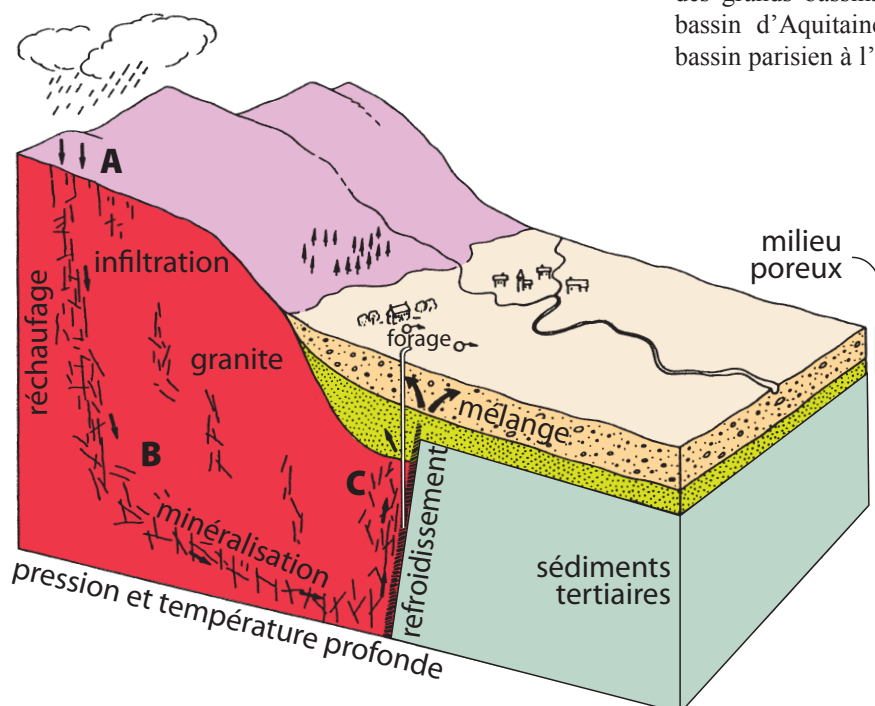


Figure 4 - Circuit thermal de milieu cristallin en bordure de graben, type Massif Central (d'après M. Lopukine, 1994).

A - Aire d'alimentation ;
B - Colonne de percolation ;
C - Axe de collecte.

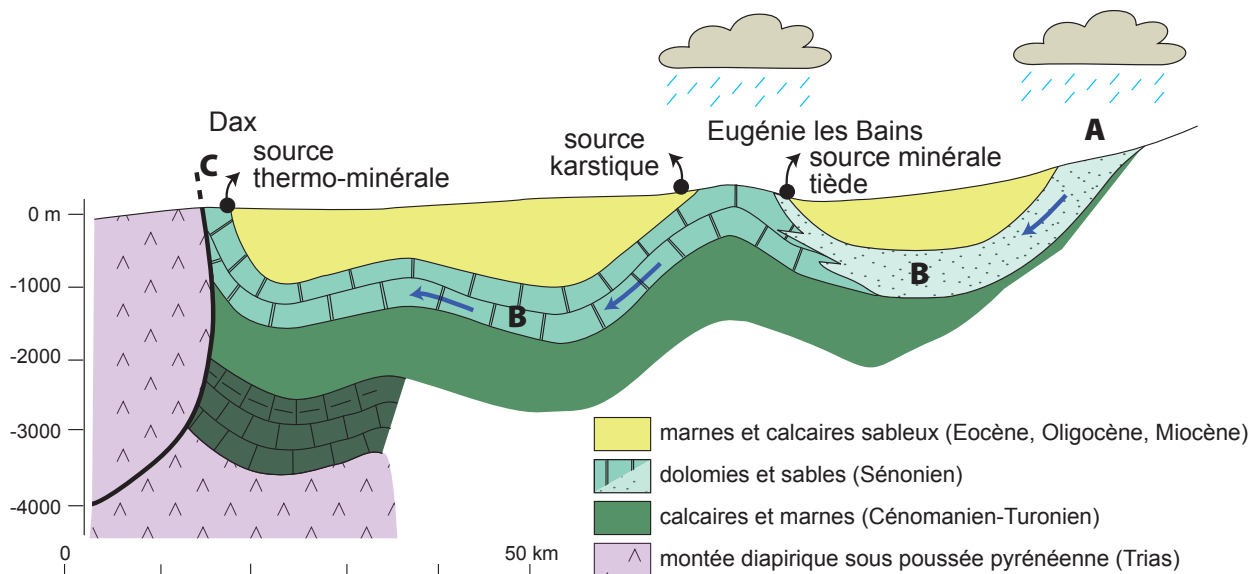


Figure 5 - Un aquifère profond régional du Bas Adour à l'origine du circuit thermal de Dax.
A - Aire d'alimentation ; B - Colonne de percolation ; C - Axe de collecte.

à l'est (Figure 2). Par exemple, la région du Bas Adour est caractérisée par une structure géologique complexe liée à la poussée du front pyrénéen qui a favorisé des montées de diapirs comme celui de Dax (Blavoux, 1991). Ces montées ont plissé et redressé les calcaires et dolomies du Crétacé supérieur qui contiennent une nappe profonde, étendue, d'importance régionale (Figure 5). A la faveur de ces structures, il s'établit des circulations ascendantes et verticales sur plus de 2000 m qui se manifestent par les sources thermales dont certaines sont captées depuis l'époque gallo-romaine. Toujours dans cette zone sous-pyrénéenne, mais vers l'Est, la station de Rennes les Bains exploite les calcaires localement karstifiés du Dévonien, captifs sous le flysch carbonifère et le Méso Cénozoïque. Le horst paléozoïque du Mouthoumet est affecté par des accidents chevauchants liés à la tectonique pyrénéenne qui permettent la remontée depuis plus de 2000 m de profondeur par la branche redressée des calcaires dévoniens, des eaux infiltrées sur leur affleurement au

dessus de 800 m d'altitude quelque 10 km vers le Nord (Figure 6) (Yvroux et Olive, 2003). Quelques stations thermales ne se sont pas créées autour d'émergences naturelles mais utilisent l'eau de forages profonds détournés de leur destination première parce qu'ils ont rencontré des aquifères captifs d'eaux chaudes et très minéralisées à la base d'épaisses séries sédimentaires tranquilles (f de la Figure 2). Les stations thermales de Jonzac et Rochefort sur mer en Charente utilisent des ouvrages réalisés pour le chauffage urbain, celles de Morsbronn les Bains et de Pechelbronn en Alsace des forages de recherche pétrolière, celle de Montrond les Bains dans la plaine du Forez un forage de recherche de charbon et enfin celle d'Amnéville en Lorraine un forage jusqu'à l'aquifère d'extension régionale des grès du Trias inférieur, mais intentionnel celui-ci (Pomerol et Ricour, 1992).

Des structures encore plus complexes sont le fait des régions sédimentaires fortement plissées comme la zone Nord Pyrénéenne ou les chaînes subalpines

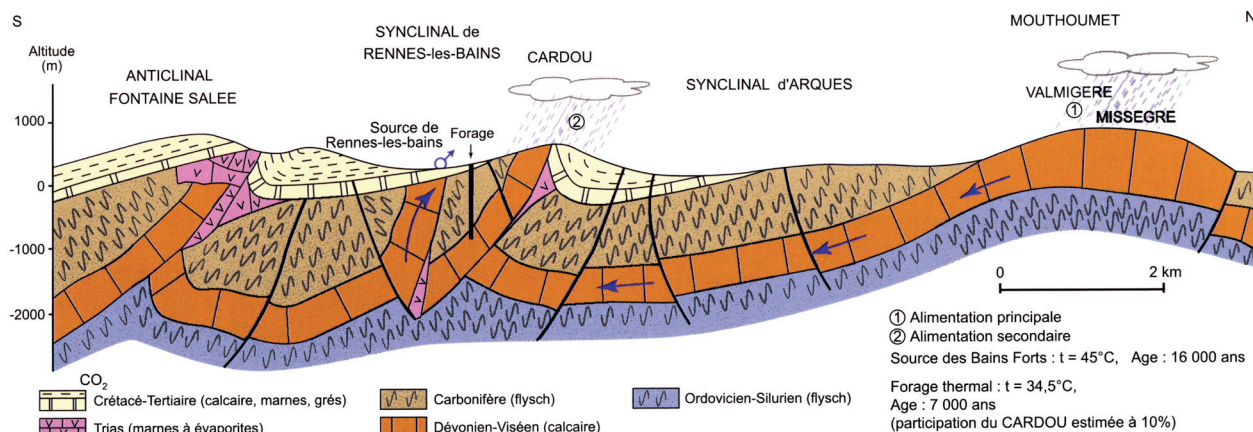


Figure 6 - Circuit des sources thermales de Rennes les Bains, Aude, (d'après M. Yvroux, 2003, figure parue dans «Aquifères et eaux souterraines en France», Tome 2, Dir. J.-C. Roux, 2006, BRGM éd).

avec des plis déversés et des nappes de charriage. Le schéma hydrogéologique de la chaîne pyrénéenne (Figure 3) montre les dépôts du Secondaire fortement plissés comportant des niveaux de calcaires et dolomies aquifères au sein d'un ensemble marneux imperméable, redressés au contact des failles qui permettent la remontée d'eaux chaudes comme à Bagnères de Bigorre (Levet, 2003). L'exemple des eaux thermales d'Aix les Bains en Savoie est particulièrement démonstratif de la complexité de ces systèmes et de la nécessité d'un décryptage géologique initial pour leur compréhension (Nicoud, 1980 ; Carfantan *et al.*, 2003 ; Gallino, 2007). L'eau provient de l'infiltration totale des pluies dans les calcaires du Kimméridgien supérieur du chaînon jurassien de l'Epine à l'Ouest du lac du Bourget. Elle s'enfonce vers l'Est à plus de 2000 m de profondeur jusqu'au cœur de la structure synclinale du val du Bourget où le chevauchement de

l'anticlinal d'Aix les Bains sur le synclinal molassique permet à l'eau de remonter dans les calcaires urgoniens du compartiment chevauchant (Figure 7).

Naturellement il existe des circuits de type mixte prenant naissance dans un massif granitique et achevant leur parcours dans des structures sédimentaires fortement plissées et faillées comme par exemple au front des massifs cristallins externes des Alpes à La Léchère (Thiébaud, 2008) ou sur la bordure ouest des Vosges.

D'une façon générale, la présence d'évaporites très solubles (gypse et sel) qui ont servi de surface de décollement et injecté les chevauchements et grands accidents entraîne souvent une forte minéralisation des eaux thermales, sulfatée calcique, chlorurée sodique ou les deux. Ces évaporites sont aussi présentes dans les séries de base (Trias) des bassins sédimentaires et forment les diapirs.

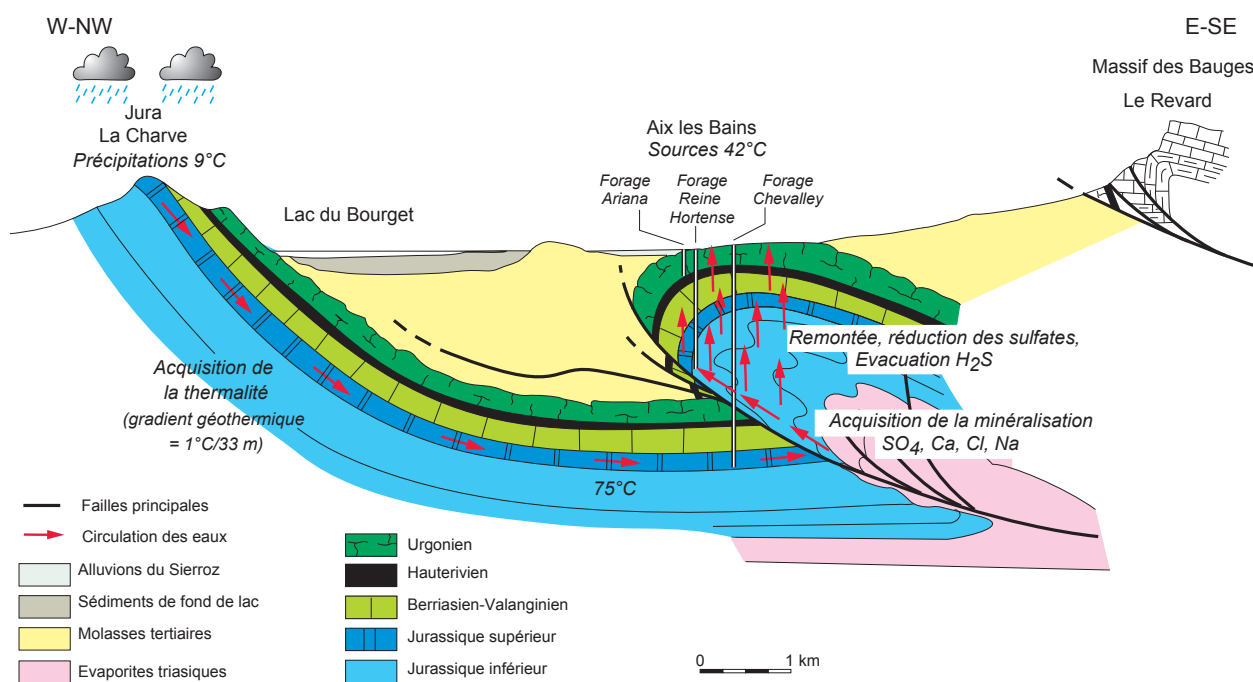


Figure 7 - Circuit des eaux thermales d'Aix les Bains (in Carfantan *et al.*, 2003).

III - LES CONDITIONS D'EMERGENCE

Le drain terminal du circuit thermal connaît des circulations d'eaux quelquefois très minéralisées, un dégazage et une oxygénation qui peuvent engendrer des précipitations chimiques et un colmatage des sorties. Pour que ce court-circuit hydraulique reste ouvert, il doit être entretenu et réactivé par une sismicité active. Pour confirmation, on observera que la quasi totalité des sources minérales françaises se situe au sud-est d'une ligne Bordeaux - Sedan (Figure 2) dans les régions affectées par les orogénèses pyrénéenne et alpine et donc par une tectonique récente voire actuelle (carte sismotectonique, BRGM, 1981). Plusieurs obser-

vations dans les Alpes occidentales et dans le Massif Central ont montré qu'il existe une relation entre sismicité et phénomènes hydrothermaux (Pomerol et Ricour, 1992).

Au cours de la remontée, l'eau minérale traverse des terrains de plus en plus froids et elle perd des calories, des milieux à perméabilité de plus en plus forte et le conduit minéral principal tend à se ramifier en plusieurs branches dans la zone de décompression de surface (Figure 8). L'eau minérale profonde peut difficilement se frayer une voie jusqu'en surface sans être affectée par un mélange avec des eaux superficielles.

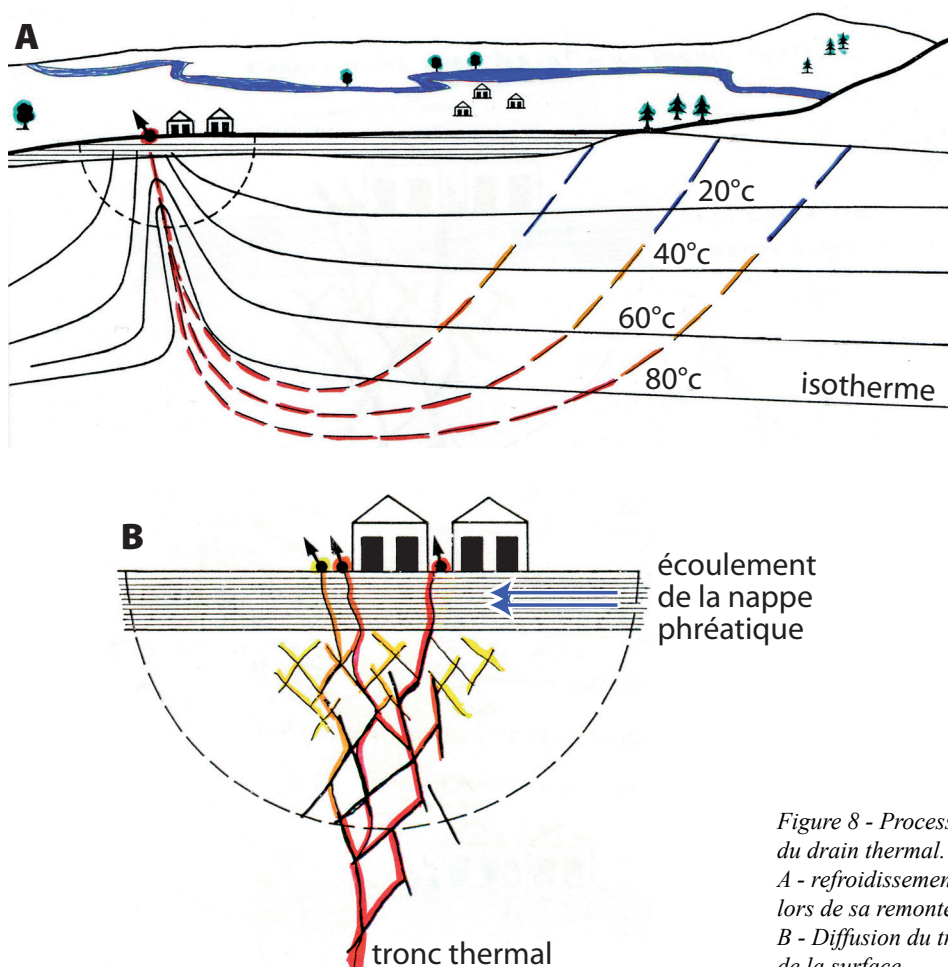


Figure 8 - Processus dans la zone d'émergence du drain thermal.

A - refroidissement de l'eau thermique profonde lors de sa remontée.

B - Diffusion du tronc thermal et mélanges près de la surface.

Ainsi on observe généralement dans la zone d'émergence plusieurs sources correspondant à des mélanges en proportions différentes mais appartenant toutefois à la même lignée géochimique. Suivant le contexte hydrogéologique on distingue

- la (ou les) source principale peu sujette aux fluctuations hydrodynamiques et caractérisée par un maximum de concentration chimique et ou de température ;
- les sources secondaires sujettes à fluctuations sensibles et affectées d'un mélange plus important avec des eaux de surface ou les nappes dites « libres » ;
- les divergences du drain thermal dans les aquifères (divergences non visibles en surface) qui se signent par des anomalies de température et/ou de composition chimique au sein de ces aquifères (Blavoux et Berthier, 1985).

Pour étudier ces mélanges généralement binaires, il est usuel d'examiner les corrélations entre éléments de tous les points d'eau de la zone d'émergence. On reporte sur un diagramme les différentes espèces chimiques, magnésium, calcium, sulfures et autres en fonction de l'élément le plus représentatif des eaux profondes. Cet élément représentatif doit être conservatif et sont d'abord retenus les chlorures, puis le sodium

ou les sulfates si les eaux sont loin de la saturation et ne sont pas sulfurées. Dans l'exemple des eaux thermales de Bourbonne les Bains (Figure 9), l'élément conservatif qui augmente avec la température est le chlorure. Des corrélations positives de ce dernier avec les teneurs en sodium indiquent une même origine profonde tandis que des corrélations négatives avec les teneurs en sulfate confirment la thèse d'un mélange de l'eau minérale avec une eau superficielle riche en sulfate (Garcia, 1986). Ces mélanges peuvent aussi engendrer des rééquilibres chimiques secondaires comme par exemple l'oxydation partielle ou complète des sulfures en sulfates ou la précipitation d'une partie du calcium sous l'effet d'un dégazage. Ces variations ultimes, mineures d'un point de vue quantitatif, ont une très grande importance au plan qualitatif parce qu'elles confèrent souvent à l'eau ses propriétés médicinales mises en valeur par le thermalisme. Elles posent un problème lorsque pour le développement de la ressource et de façon à la mettre à l'abri d'une pollution de surface, on a recours à un forage visant à intercepter l'axe de collecte avant sa divergence. Ce nouvel ouvrage peut en effet fournir une eau sans dilution légèrement différente du captage initial de surface qui a été pris comme référence lors de l'autorisation administrative souvent très ancienne.

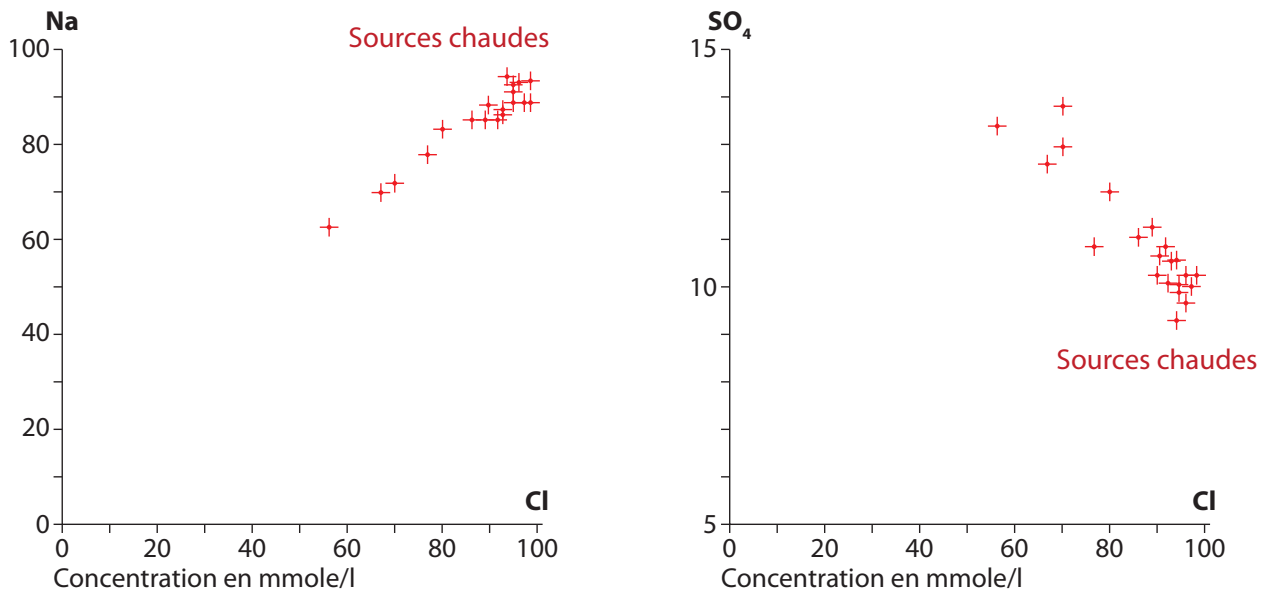


Figure 9 - Mise en évidence des mélanges par la chimie des sources de la zone d'émergence, exemple de Bourbonne les Bains (d'après D. Garcia, 1986).

IV - LES PRINCIPES DE LA PROTECTION DE LA RESSOURCE THERMALE

Le circuit thermal est une structure géologique traversée par un flux d'eau qui y acquiert sa minéralisation. Il peut être caractérisé par une fonction de transfert qui définit d'un point de vue quantitatif la transmission rapide des pressions et d'un point de vue qualitatif le déplacement très lent de l'eau et de ses sels. C'est une ressource renouvelable et donc durable à l'échelle humaine si l'on respecte l'équilibre entre les entrées et les sorties du système. A l'échelle géologique toutefois, cette ressource n'a qu'un caractère transitoire parce qu'elle est soumise à la pérennité des structures et à la constance des conditions climatiques en surface et des conditions physicochimiques en profondeur. Ainsi, une modélisation couplée hydrodynamique et thermique des systèmes d'Aix les Bains (Gallino, 2007) et de la Léchère (Thiébaud, 2008) a mis en évidence la chasse des eaux chaudes vers la vallée lors de la réactivation post-glaciaire des écoulements.

1 - La protection quantitative

Elle doit d'abord veiller à ce que des transformations ne portent pas atteinte au volume d'eau infiltrée. Parce que le transit des eaux thermales s'effectue à grande profondeur, les risques de détournement existent avec la réalisation de grands travaux souterrains, comme par exemple les tunnels sous les massifs montagneux, les forages géothermaux ou les exploitations minières. Parmi les autres atteintes possibles, on citera la déforestation et les aménagements hydrauliques susceptibles d'entraîner des transferts d'eau hors de l'aire d'alimentation. Mais la protection quantitative

concerne aussi les sorties du système. Si le recours au forage permet généralement un meilleur débit que l'émergence naturelle, le pompage ne doit cependant pas rompre l'équilibre entre les entrées et les sorties du circuit par des prélèvements excessifs. Le bilan n'est pas facile à établir entre les volumes exploités et les sorties et écoulements occultes d'une part et la fonction d'entrée d'autre part, en général approximative sur un bassin d'alimentation souvent mal cerné. Aussi, une surveillance hydrodynamique rigoureuse doit être mise en place par le gestionnaire.

2 - La protection qualitative

Elle s'exerce en priorité dans la zone d'émergences où se produisent les mélanges du drain thermal avec les eaux superficielles (périmètre sanitaire). Pour isoler l'eau thermique de son environnement hydrogéologique vulnérable, le recours à un forage interceptant le drain thermal avant ses divergences est une bonne solution à la condition d'avoir résolu les problèmes de label. Mais la protection qualitative concerne aussi l'aire d'alimentation, tout particulièrement quand le temps de transit de l'eau est court (quelques années à quelques dizaines d'années). C'est le cas des circuits d'eau minérale froids pour lesquels des programmes de protection et gestion de l'impluvium ont été mis en place par les grandes marques d'eau embouteillée (Teyssyre, 1995 ; Bligny, 2003). Le circuit thermal est peu concerné par cette protection qualitative éloignée. La raison principale est que l'eau circulant à plusieurs milliers de mètres de profondeur à des tem-

pératures souvent supérieures à 100 °C (indications des géothermomètres) a un temps de transit très élevé qui la met hors d'atteinte des pollutions anthropiques modernes. Quelques datations ont été obtenues par la méthode du radiocarbone sur les eaux sulfurées sodiques des Pyrénées à Cauterets (5 100 ans) et à Luchon (14 000 ans) ainsi qu'en Corse à Guagno

(6 000 ans) (Pomerol et Ricour, 1992) qui confirment en effet les vitesses d'écoulement extrêmement lentes dans la profondeur des massifs de granite. Les grandes difficultés rencontrées pour localiser et délimiter avec précision l'aire d'alimentation d'un système thermal, particulièrement en domaine de socle confortent cette impression.

CONCLUSION

Pour bien protéger et gérer la ressource thermique, il faut bien la connaître. Cette connaissance doit être globale. Elle concerne la structure géologique du réservoir avec la localisation de l'aire d'alimentation, le fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique du circuit et l'analyse des processus complexes qui peuvent résulter des mélanges naturels dans la zone d'émergences. Tous les outils de l'hydrogéologie moderne, la géologie en premier lieu, la géophysique, l'hydrodynamique et la géochimie doivent être mis en

œuvre et leurs indications combinées pour valider l'interprétation proposée. Le marquage naturel chimique et isotopique de l'eau et des éléments dissous est tout particulièrement performant pour reconstituer la genèse du produit thermal et son histoire au cours de son trajet jusqu'à l'émergence (mélanges). Une fonction de transfert caractérisant le transfert de pression et surtout le transit de la molécule d'eau entre entrée et sortie constitue la carte d'identité de chaque système.

BIBLIOGRAPHIE

- BLAVOUX B., 1995. Apports des techniques isotopiques à la connaissance des gisements d'eau minérale. *La Houille Blanche*, 2/3, 1995, 51-58.
- BLAVOUX B., BERTHIER F., 1985. Les originalités hydrogéologique et technologique des eaux minérales. *Bull.Soc.géol. France*, 1985, (8), 1, 7, 1033-1044.
- BLAVOUX B., 1991. Le forage : une façon moderne de protéger et gérer la ressource. Colloque : la qualité de l'eau thermique coulera-t-elle toujours de source ? Journées nationales, Cité des Sciences et de l'Industrie, La Villette, Paris, p. 17-33.
- BLIGNY J.-C., 1994. Etudes des mécanismes de circulation des eaux thermominérales en milieu fissuré et d'acquisition du chimisme de l'eau par interaction avec la matrice minérale. Thèse de Doctorat, Université Paris VI.
- BLIGNY J.-C., 2003. Une politique de protection des eaux minérales. L'exemple du gisement hydrominéral d'Evian. Colloque : Circulations Hydrothermales en terrains calcaires, 10^{ème} journée technique du Comité National Français de l'Association Internationale des Hydrogéologues, 28 novembre 2003, Carcassonne, 177-178.
- BRGM Edition, 1981. Carte sismotectonique de la France au 1/1 000 000^e.
- CARFANTAN J.-C., NICOU D. G. et IUNDT F., 2003. L'origine et le parcours des eaux minérales d'Aix les Bains (Savoie). Colloque : Circulations Hydrothermales en terrains calcaires, 10^{ème} journée technique du Comité National Français de l'Association Internationale des Hydrogéologues, 28 novembre 2003, Carcassonne, 7-14.
- GALLINO S., 2007. Hydrogéologie, géochimie et modélisation hydrodynamique-thermique d'un système thermominéral associé à un contact structural alpin (Aix les Bains-Savoie). Thèse de Doctorat, Université de Savoie, Chambéry.
- GARCIA D., 1986. Etude isotopique et géochimique des eaux thermales des Vosges méridionales. Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Montpellier II, Document du BRGM, 112.
- LEVET S., 2003. Contribution à l'étude des relations spatiales et temporelles entre la géochimie des eaux thermominérales, la géologie et la sismotectonique : cas des Pyrénées. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- MICHARD G., FOUILLAC C., GRIMAUD D., DENIS J., 1981. Une méthode globale d'estimation des températures des réservoirs alimentant les sources thermales. Exemple du Massif Central français. *Géochim.Cosmochim. Acta*, 45, 1199-1207.
- NICOU D. G., 1980. Sur l'origine des eaux thermominérales d'Aix les Bains, Savoie, France. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 291, D, 179-182.
- POMEROL C., RICOUR J., 1992. Terroirs et Thermalisme, les eaux minérales françaises. Ed. BRGM, 288 p.
- TEYSSEYRE J., 1995. Gestion de l'environnement pour les bassins hydrominéaux de Contrexéville et de Vittel. *La Houille Blanche*, 2/3, 1995, 120-123.
- THIEBAUD E., 2008. Fonctionnement d'un système hydrothermal associé à un contact tectonique alpin (La Léchère, Savoie). Thèse de Doctorat, Université de Savoie, Chambéry.
- VASSEUR G., GABLE R., FEUGA B., BIENFAIT G., 1991. Groundwater flow and heat flow in an area of mineral springs. *Geothermics*, 20, 3, 99-117.
- YVROUX M., OLIVE Ph., 2003. Circulations hydrothermales dans la partie occidentale du Mouthoumet (Aude). Colloque : Circulations Hydrothermales en terrains calcaires, 10^{ème} journée technique du Comité National Français de l'Association Internationale des Hydrogéologues, 28 novembre 2003, Carcassonne, p.115-122.

Fonctionnement et ressource



Au recto

En haut - Schéma de fonctionnement des eaux thermales d'Aix-les-Bains (Carfantan, 2003).

Au centre - Gisement Cu-Au de Tiouit (Anti-Atlas, Maroc).

En bas - Source thermale Alun (Aix-les-Bains, Savoie).

LES PALÉO-KARSTS HYDROTHERMAUX À REMPLISSAGE DE SULFURES DU DISTRICT DE TOUISSIT-BOU BEKER MAROC NORD ORIENTAL

ORIGINE(S) ET IMPLICATION(S)

*SULPHIDE-BEARING HYDROTHERMAL PALEOKARSTS OF THE TOUISSIT-BOU BEKER DISTRICT
(NORTHEASTERN MOROCCO): ORIGIN(S) AND IMPLICATION(S)*

MOHAMMED BOUABDELLAH

*Laboratoire des Gîtes Minéraux, Hydrogéologie et Environnement, Département de Géologie,
Faculté des Sciences, B.P. 524, 60000 Oujda, Maroc
mbouabdellah2002@yahoo.fr*

RÉSUMÉ

Les minéralisations Pb-Zn de type Mississippi Valley du district de Touissit-Bou Beker (Maroc Nord oriental) se présentent sous forme de remplissage d'un réseau interconnecté de paléo-karsts hydrothermaux et de brèches d'effondrement. Les études géologiques montrent que les dolomies encaissantes ont subi les effets de trois phases de dissolution, dont une phase majeure reliée à la circulation des fluides minéralisateurs. Les structures de dissolution qui en résultent se distinguent les unes des autres aussi bien par leur distribution spatiale que par la nature de leurs produits de remplissage.

Les paléo-dolines relevant de la première phase de dissolution présentent des shales de teinte vert noirâtre interprétés comme des paléosols. En revanche, les structures issues de la phase de dissolution majeure montrent des produits de remplissage constitués de dolomite en selle, de sulfures et de pyrobitumes, reliés à la circulation des hydrothermaux (saumures bassinales) libérés au cours de l'enfouissement profond. Enfin, la troisième phase de dissolution a conduit à l'enrichissement du minerai primaire et au développement des karsts verticaux modernes (mérokarsts) et aux zones de collapse.

MOTS-CLÉS : TOUISSIT-BOU BEKER, MAROC, GISEMENT DE TYPE MISSISSIPPI VALLEY, DISSOLUTION HYDROTHERMALE, DISSOLUTION MÉTÉORIQUE, PALÉO-KARSTS HYDROTHERMAUX.

ABSTRACT

Mississippi Valley-type lead-zinc orebodies at Touissit-Bou Beker district of northeastern Morocco are hosted by paleokarst features in a Middle Jurassic (Aalenobajocian) carbonate platform. The ore occurs mainly as open-space fillings of karsts and collapse breccias. Geological investigations coupled to core sample examinations show that the carbonate platform were subjected to three main stages of dissolution and brecciation; one of which (stage II) is related to the Pb-Zn mineralization. The resulting dissolution structures are distinguished from each other on the basis of their spatial distribution and the nature of their infilling materials.

The spatial distribution of sinkholes, whose formation are related to stage I, are interpreted to have been formed by the downward circulation of meteoric waters during the exposure of the carbonate platform at the end of the Aaleno-Bajocian time. The created voids are commonly filled with green to black shale interpreted as paleo soils. In contrast, the stage II structures, commonly filled with saddle dolomite, sulphides, and pyrobitumen, form a paleokarst solution network. The observations suggest that these structures are linked to the ore-forming hydrothermal fluids that circulated during deep burial. Later recent karstification events have produced the vertical modern continental karsts (merokarsts) and collapse-zones that enriched the primary ore.

KEYWORDS: TOUISSIT-BOU BEKER, MOROCCO, MISSISSIPPI VALLEY-TYPE DEPOSITS, HYDROTHERMAL DISSOLUTION, METEORIC DISSOLUTION, HYDROTHERMAL PALEOKARSTS.

INTRODUCTION

Les gisements Pb-Zn de type Mississippi Valley (MVT) constituent une classe de gisements épigénétiques dont plus de 50% des minéralisations sulfurées résultent du remplissage de structures de dissolution (Leach et Sangster, 1993). Parmi toute la panoplie de structures générées, les karsts constituent le type de réceptacle dont les tonnages et les teneurs en minerais primaires sont les plus forts ; ce qui explique leur attrait économique.

Si l'importance minière des karsts est unanimement reconnue, leur genèse demeure cependant controversée. A ce propos, deux modèles génétiques s'affrontent. Le premier modèle dit « météorique » relie la formation des structures de dissolution à la circulation de solutions météoriques froides suite à l'exondation des plateformes carbonatées lors des phases d'émergence (Harris, 1971 ; Kyle, 1981 ; Rhodes *et al.*, 1984). A l'opposé, les adeptes du deuxième modèle baptisé « hydrothermal » rattachent la genèse de ces structures de dissolution à la circulation de saumures bassinales chaudes libérées lors de l'enfouissement profond ; le terme de karst « hydrothermal » a ainsi introduit dans la littérature scientifique (Bogacz *et al.*, 1970 ; Dzulynski,

1976 ; Dzulynski et Sass-Gustkiewicz, 1980 ; Sass-Gustkiewicz *et al.*, 1982 ; Anderson, 1983 ; Ohle, 1985 ; Anderson et Garven, 1987 ; Sangster, 1988 ; Bouabdellah, 1993 ; Qing et Mountjoy, 1994 ; Sass-Gustkiewicz, 1996 ; Leach *et al.*, 1996).

La plateforme carbonatée du Jurassique moyen (Aaléno-Bajocien) de la partie orientale de la chaîne des Horsts (Figure 1) a connu au cours de son histoire géologique, la succession de plusieurs phases de dissolution dont la plus importante est à l'origine de la genèse des imposants gisements de type MVT du district de Touissit-Bou Beker. La simplicité des structures tectoniques se réduisant à de simples jeux en horsts et grabens, de même que l'absence des effets du métamorphisme pouvant oblitérer les structures primaires, constituent autant de facteurs favorables pour l'étude et la reconstitution des différentes phases de dissolution ayant affecté la série dolomitique aaléno-bajocienne du district de Touissit-Bou Beker. Aussi, nous proposons dans la présente recherche d'identifier la chronologie des différentes phases de dissolution, de décrire les structures karstiques qui en résultent, et de discuter leur origine (*i.e.*, hydrothermale et/ou météorique).

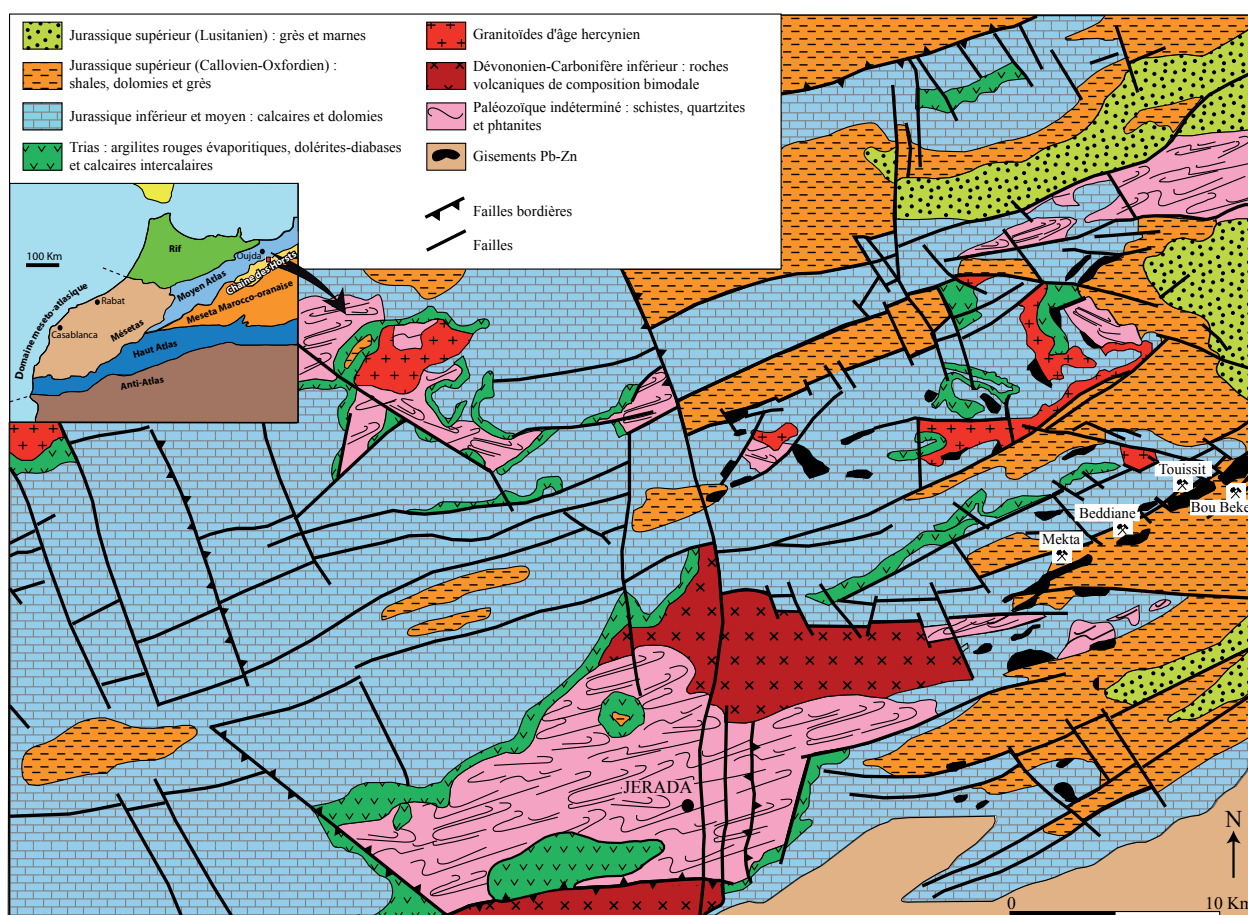


Figure 1 - Carte géologique du district de Touissit-Bou Beker montrant la localisation des principaux gîtes plombo-zincifères.

I - CADRE GEOLOGIQUE

Le district de Touissit-Bou Beker est localisé dans la partie nord-est du Maroc aux confins de la frontière algéro-marocaine. Le district comprend cinq gisements (Figure 1) dont quatre (Bou Beker, Touissit, Mekta et Beddiane) sont situés en territoire marocain et le cinquième (El Abed) en territoire algérien (hors-carte). Depuis leur mise en exploitation en 1926, les gisements du district ont produit plus de 75 millions de tonnes de minerais à des teneurs moyennes de 4 % Pb et 3 % Zn (Bouabdellah, 1993 ; Bouabdellah *et al.*, 1994 et 1995).

La colonne stratigraphique synthétique du district montre la superposition de deux unités lithostratigraphiques majeures dont un socle paléozoïque, recouvert en discordance majeure par une épaisse couverture mésozoïque (Figure 2). Le socle paléozoïque est constitué pour l'essentiel de schistes localement intrudés de rhyodacites d'âge Viséen (Carbonifère). La couverture mésozoïque débute par un mince niveau conglomératique attribué par les géologues locaux à l'infra-Lias ; le Trias rouge évaporitique faisant défaut au niveau des gisements du district. Les premiers niveaux paléontologiquement datés sont constitués de calcaires sub-lithographiques du Lias (Carixien) sur lesquels repose la puissante assise dolomitique minéralisée « Dalle des Hauts Plateaux » de l'Aaléno-Bajocien. En discordance sur ces dolomies reposent les faciès grés-dolomitiques « Toit jaune » du Bajocien supérieur, relayés par le niveau condensé à oolites ferrugineuses du Bathonien ; elles mêmes coiffées par les shales à intercalations de grès et de dolomies du Callovo-Oxfordien. Les formations de la couverture méso-cénozoïque ont subi les contre-coups de l'orogénèse atlasique dont les effets se traduisent par le développement d'un réseau de failles sub-verticales délimitant des structures en horsts et

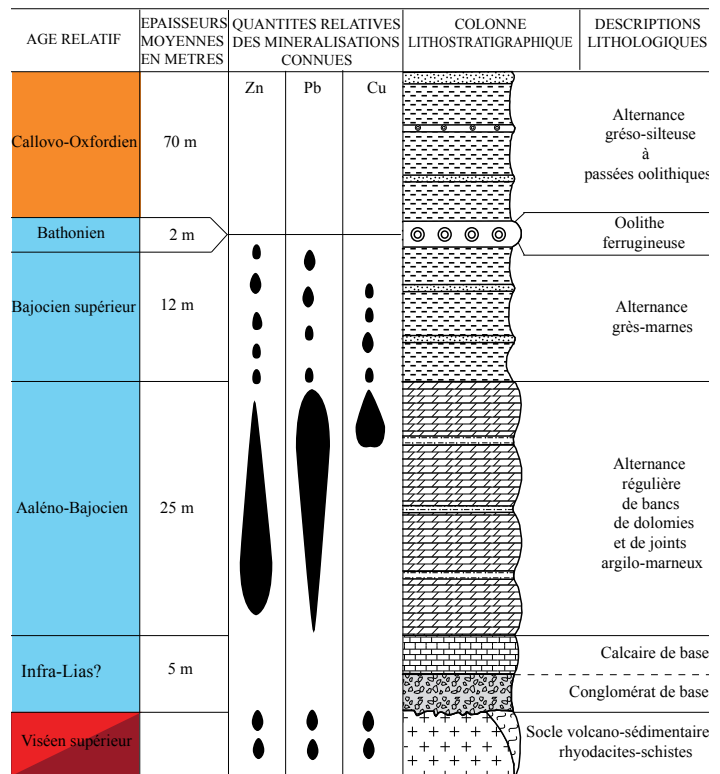


Figure 2 - Colonne lithostratigraphique synthétique établie à l'aplomb des gisements du district de Touissit-Bou Beker.

grabens ; à l'origine de l'appellation de la chaîne des Horsts.

Les minéralisations sulfurées, exprimées minéralogiquement sous forme de galène, de blende, de chalcoppyrite et de pyrite, se présentent soit sous forme de substitutions plus ou moins massives en remplacement des roches dolomitiques hôtes et des structures sédimentaires associées, soit sous forme de remplissages d'espaces ouverts dont les structures de dissolution (karsts, brèches d'effondrement, sédiments internes et géodes).

II - TERMINOLOGIE

Dans cet article, le terme karst est utilisé dans son sens le plus large dénué de toute connotation génétique (Quinlan, 1972 ; Choquette et James, 1988). Il réfère à l'ensemble de paysages et de structures caractéristiques, de surface et souterraines, macroscopiques et microscopiques, issus de la dissolution d'un précurseur carbonaté. Le processus de dissolution s'accompagne d'un ensemble de processus connexes tels que la corrosion, la précipitation, le transport, la sédimentation, la subsidence et l'effondrement. L'action combinée de l'ensemble de ces processus conduit au développement d'une variété de structures subaériennes et souterraines telles que les dolines, les caves, les cavités,

les lapiés, et les corridors karstiques. Quant au terme paléo-karst, il désigne des karsts fossiles ou enfouis. Il inclut aussi bien les paléo-karsts de surface « relict paleokarst » ou « bare karst » (Jennings ; 1971) que les paléo-karsts enfouis « covered karst » (Jennings, 1971 ; Sweeting, 1973 ; Wright, 1982). Les structures fonctionnelles sont désignées sous l'appellation de karsts modernes.

Par ailleurs, le concept de « karst hydrothermal » réfère à une structure karstique dont le développement est étroitement lié à la circulation de fluides hydrothermaux chauds (saumures bassinales) dont la température est supérieure à 80°C.

III - CHRONOLOGIE DES DIFFÉRENTES PHASES DE DISSOLUTION

La séquence dolomitique aaléno-bajocienne du district de Touissit-Bou Beker a subi tout le long de son histoire géologique une intense activité de dissolution dont les effets se sont traduits par le développement, à différentes échelles tant macroscopiques que microscopiques, de nombreuses structures karstiques. A ce propos, trois principales phases de dissolution, d'importance économique inégale, ont été reconnues. Les structures générées se distinguent les unes des autres par leurs positions stratigraphiques et spatiales ainsi que par la nature de leurs produits de remplissage.

1 - Phase de dissolution I : formation des paléo-dolines reliées à l'exondation de la plateforme carbonatée

Le développement des paléo-dolines est lié à l'exondation de la plate forme carbonatée lors de la phase d'émersion ayant succédé au dépôt des dolomies aaléno-bajociennes.

Les études de terrain complétées par l'examen des carottes de sondage montrent que la répartition spatiale de ces paléo-dolines, d'extension régionale, est limitée aux seuls faciès carbonatés (calcaires et/ou dolomies) immédiatement sous-jacents à la discordance de la limite Aaléno-Bajocien/Bajocien supérieur. Morphologiquement, les paléo-dolines se présentent sous forme de petites dépressions étroites (0,5 mètre de large et quelques mètres de profondeur), peu profondes (quelques mètres au maximum), en forme de U ou de V asymétriques. La particularité commune à l'ensemble de ces structures réside dans la nature originale de leurs matériaux de remplissage constitués de shales de teinte vert noirâtre. Localement le ciment est de nature ferrugineuse. Ces matériaux de remplissage correspondraient à des paléosols et représenteraient les premiers témoins d'émersion, d'activité de dissolution et de développement de surfaces paléo-karstiques (Maslyn, 1977 ; Wright, 1982).

Par ailleurs, dans le cas du trou de forage GY 49 (coordonnées Lambert X = 830 et Y = 431), le contact dolomies minéralisées de l'Aaléno-Bajocien/« Toit jaune » du Bajocien supérieur est souligné par la présence d'une structure particulière, matérialisée par la présence, au sein d'une dolomie à grain grossier, d'un enchevêtrement de petites structures tubulaires correspondant probablement à des traces d'activité biologique (Bouabdellah, 1993). Ces structures, en forme de siphons, sont remplies d'argiles parsemées de cristaux de pyrite oxydée. En accord avec Desrochers et James (1988) et Cowell (1976), ces structures se seraient formées, après le développement de la surface karstique, par dissolution biologique de substrats de dolomies bien lithifiées, en réponse à l'activité des algues et les lichens croissant directement sur la roche carbonatée.

2 - Phase de dissolution II : formation des paléo-karsts hydrothermaux et des brèches d'effondrement associées

Les structures de dissolution reliées à la phase II sont représentées par les paléo-karsts, les brèches d'effondrement, les sédiments internes et les géodes. Ces structures se reconnaissent grâce à leur caractère communément minéralisé et constituent de ce fait les principaux réceptacles de la minéralisation plombo-zincifère exploitée dans le district de Touissit-Bou Beker. Leur distribution spatiale, quoiqu'exclusivement limitée aux gisements du district, est généralisée à l'ensemble des formations grésodolomitiques de l'Aaléno-Bajocien, du Bathonien « Toit jaune » et du Callovo-Oxfordien.

Sur la base de leur forme géométrique d'une part, et la nature de leurs matériaux de remplissage d'autre part, deux principaux types de paléo-karsts sont reconnus dont les paléo-karsts tabulaires (concordants) et les paléo-karsts prismatiques (discordants).

Les paléo-karsts tabulaires, bien développés à Hassi Ennyag (quartier du gîte de Beddiane), représentent les principales structures minéralisées dont les tonnages et les teneurs en métaux sont les plus fortes. En effet, 1 083 515 tonnes de minerais de plomb moyennant des teneurs de 14 % Pb y ont été extraites.

Les paléo-karsts tabulaires (Figure 3, photos 1 et 2) se développent le long des plans de stratification parallèlement aux strates carbonatées horizontales ce qui leur confère un caractère plus ou moins stratiforme. Morphologiquement, les paléo-karsts tabulaires se présentent sous forme de cavités de différentes tailles dont les formes géométriques varient depuis des structures étroites isolées les unes des autres à de véritables labyrinthes ramifiés en passant par des petits réseaux interconnectés de géodes.

En section, les paléo-karsts tabulaires présentent des formes elliptiques, étendues horizontalement sur une centaine de mètres, beaucoup plus longues (cinquantaine de mètres) que larges (<10 m). Localement, les paléo-karsts tabulaires forment de véritables structures méandreuses interconnectées les unes aux unes ; formant ainsi un seul paléo-aquifère. Leurs matériaux de remplissage sont constitués par ordre d'importance de sulfures massifs (galène et/ou sphalerite ; > 80 % en volume) accompagnés, dans une moindre mesure, de dolomite en selle ou «saddle dolomite» des anglosaxons (espèce de dolomite hydrothermale, de teinte rose ou blanche, caractérisée microscopiquement par son extinction roulante et macroscopiquement par l'allure courbe de ses plans de clivage) et de pyrobitumes. Certaines de ces ouvertures ont été re-sédimentées par des carbonates chimiques (Figure 3, photo 3) ou clastiques (Figure 4, photo 1) accompagnés ou non de sulfures donnant lieu aux sédiments internes (Bouabdellah *et al.*, 2006 a).

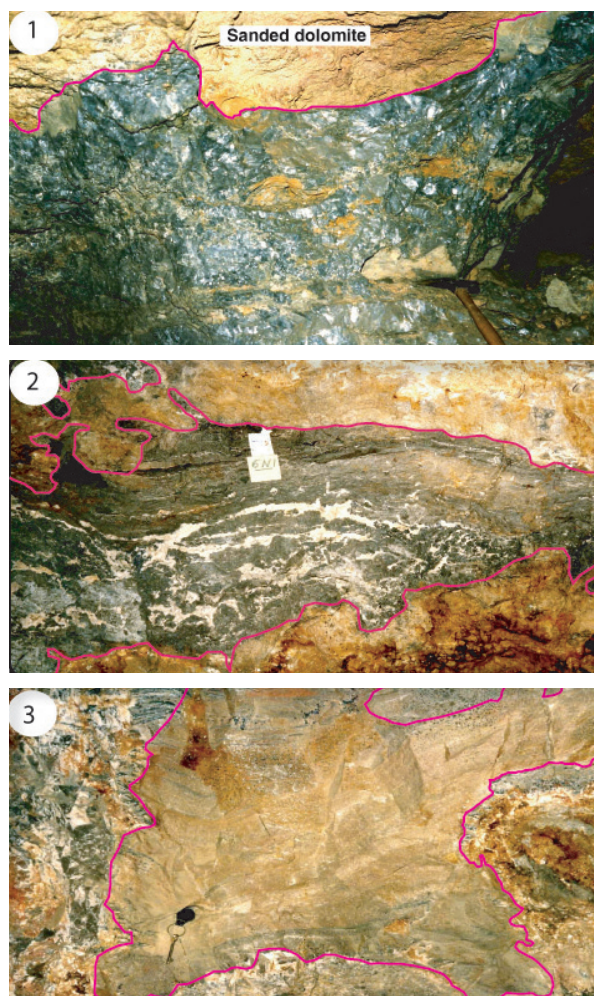


Figure 3 - Photographies du fond de la mine de Beddiane montrant des exemples de paléokarsts hydrothermaux à remplissage de : (1) galène massive ; (2) blende massive et dolomite baroque blanche ; et (3) sédiments internes de type chimique.

Quant aux paléo-karsts prismatiques, ils se distinguent des paléo-karsts tabulaires par la dimension de leur extension verticale largement supérieure à celle de leur extension horizontale (rapport hauteur/largeur $> 5/1$). Ce type de structures, correspondant aux « runs » des anciens auteurs (Voirin, 1965 ; Samson, 1973), abonde dans la partie nord du gisement de Beddiane où 5343354 tonnes de minerais, moyennant des teneurs de 17% Pb, ont été extraites. Morphologiquement, les paléo-karsts prismatiques se présentent, en section, sous forme de cheminées verticales (cigares allongés) dont le grand axe peut dépasser la centaine de mètres, traversant la discordance de la limite Aaléno-Bajocien/Bathonien, et le petit axe la dizaine de mètres. Le développement de ces structures paraît être contrôlé par le jeu de la tectonique régionale comme en témoignent les directions de leurs axes principaux conformes aux directions des failles régionales (OSO-ENE, E-O et ONO-ESE). Dans le détail, les paléo-karsts prismatiques correspondent à des structures d'effondrement « karst collapse structures ».

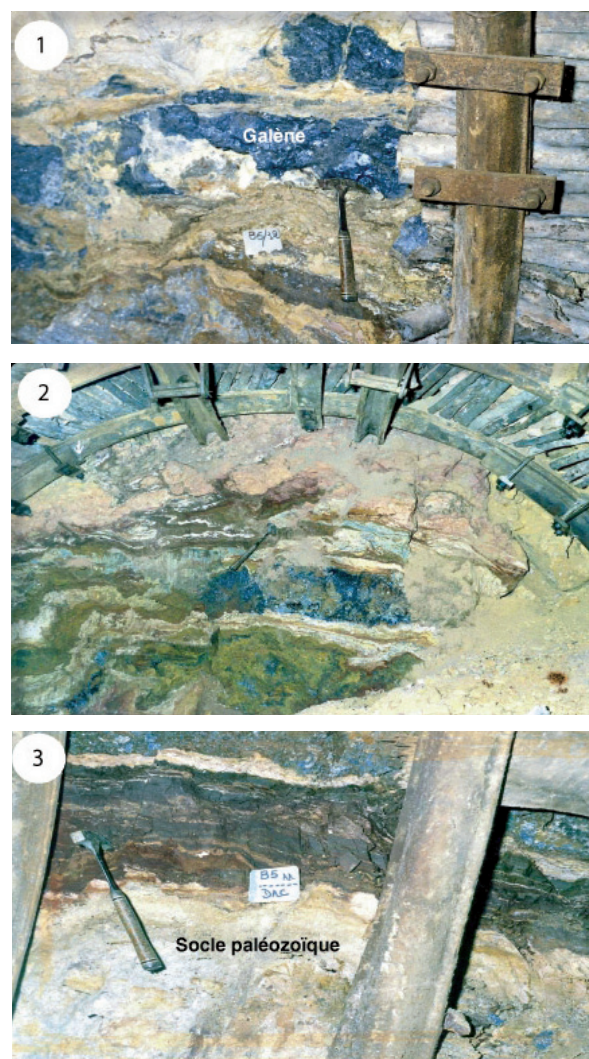


Figure 4 - Photographies souterraines de la zone dite de collapse montrant : (1) des argiles résiduelles emballant localement des blocs de galène ; (2) des argiles litées multicolores tapissées de résidus de malachite (vert) et d'azurite (teintes bleuâtres) ; et (3) d'argiles varvées de teinte rouge noirâtre reposant directement sur le socle paléozoïque.

Leurs matériaux de remplissage sont constitués de gros blocs effondrés de dolomies cimentés par des sulfures (galène \pm blende) et de la dolomite en selle. On y reconnaît également des blocs provenant des faciès du « Toit jaune » et du Callovo-Oxfordien ; ce qui indique que le développement de ces structures karstiques est postérieur à la discordance coiffant la partie sommitale de l'Aaléno-Bajocien. Bien qu'indépendant des paléo-karsts tabulaires, les paléo-karsts prismatiques peuvent localement coalescer à partir des parties basales ou sommitales des karsts tabulaires.

3 - Phase de dissolution III : formation des karsts modernes

La dissolution post-minéralisation, affiliée à la phase III, joue un rôle crucial dans la redistribution

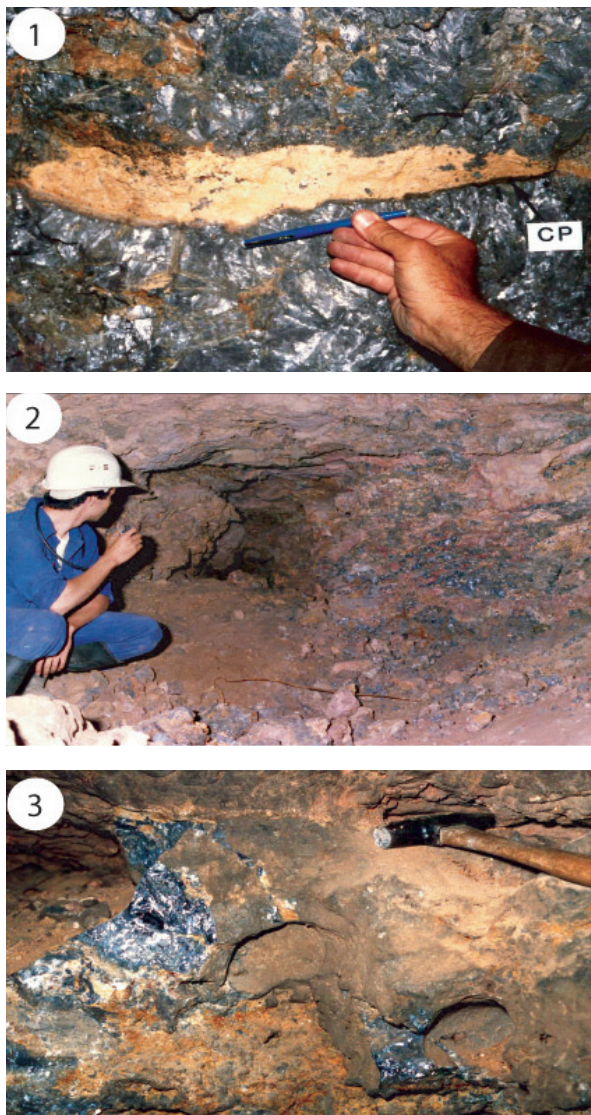


Figure 5 - Photographies du fond de la mine de Beddiane montrant : (1) un exemple de sédiments internes clastiques noyés au sein d'une masse de galène massive et (2-3) des chenaux fluviaux souterrains définissant de véritables corridors karstiques.

voire même l'enrichissement du minéral primaire de certaines zones du gisement de Beddiane. C'est notamment le cas du quartier de Hassi M'Sidira, baptisé par les mineurs locaux « zones de collapse », qui a produit 263 694 tonnes de minerais moyennant des teneurs de 18 % Pb. Les effets de la phase de dissolution III sont à l'origine de l'actuel bâti architectural du gisement. Les structures qui en résultent se dégagent de celles des phases antérieures par leur caractère communément stérile et peu mature (mérokarsts ; Sweeting, 1973). Elles sont représentées par une génération de karsts verticaux et de chenaux fluviaux souterrains définissant de véritables corridors karstiques (Figure 4, photos 2 et 3) dont la formation a été guidée par les failles, les fractures et les joints. L'une des structures les plus intrigantes, relevant des effets de la phase III, est la présence de ce que les géologues locaux appellent « zones de collapse » où les dolomies encaissantes ont été complètement dissoutes laissant place à des argiles résiduelles litées, multicolores, reposant directement sur le socle paléozoïque, et emballant localement d'énormes blocs de galène (Figure 5). Au meilleur de nos connaissances, des dissolutions d'une telle ampleur ne sont connues dans aucun autre gisement de type MVT. Le développement de ce type de structures serait lié à l'exhaussement de la chaîne, postérieurement la phase paroxysmale de déformation, suite à la circulation de fluides météoriques froids et oxydants (rubéfaction).

IV - DISCUSSION

Les phénomènes de dissolution, à l'origine des structures minéralisées du district de Touissit-Bou Beker, constituent l'un des principaux facteurs de contrôle de mise en place des minéralisations sulfurées. En raison de leurs fortes porosités et perméabilités initiales, les structures karstiques constituent d'excellents drains pour les fluides minéralisateurs. Les failles, en plus de leur rôle directeur dans la canalisation des fluides, permettent de relier les différentes structures karstiques les unes aux autres de façon à constituer des réseaux de paléo-karsts interconnectés tels que ceux décrits dans notre district. Si l'importance économique des karsts en tant que réceptacles pour bon nombre de substances utiles (métaux, pétrole et eau) est sans équivoque, leur origine demeure cependant matière à discussion. Certains auteurs attribuent la genèse de ces structures à la circulation de fluides météoriques froids (dissolution météorique) lors de l'exposition en surface de la plateforme carbonatée en réponse aux phases d'émergence. L'omniprésence des structures karstiques dans les

paysages carbonatés actuels explique le bien fondé de cette théorie. Cependant, l'absence de stalactites et de stalagmites, de structures sub-aériennes typiques des karsts météoriques (dolines, lapiés, calcrètes et spéléothèmes, James et Choquette, 1990), et des sols rouges « *terra rosa* » dont la formation est due à l'oxydation des ions Fe^{2+} en Fe^{3+} (Esteban et Klappa, 1983) fragilise le modèle météorique.

Plus récemment, un deuxième modèle dit hydrothermal fit son apparition. Ses adeptes imputent la genèse des structures karstiques à la circulation, au cours de l'enfouissement profond, de fluides hydrothermaux chauds et salins (températures moyennes de l'ordre de 100° C pour des salinités supérieures à 15 % équivalent poids NaCl ; Sass-Gustkiewicz *et al.*, 1982 ; Bakalowicz *et al.*, 1987 ; Hill, 1971 ; Mazzulo et Harris, 1992 ; Bouabdellah, 1994 ; Qing et Mountjoy, 1994 ; Dzulynski et Sass-Gustkiewicz, 1980 ; Sass-Gustkiewicz, 1996 ; Leach *et al.*, 1996). La difficulté de distinguer entre les structures issues de la dissolution

météorique et celles issues de la dissolution hydrothermale résulte du fait de la ressemblance des structures générées dans les deux cas de figures (Mazzulo et Harris, 1992) et de l'oblitération des structures primaires par les phases diagénétiques tardives.

En outre, la dissolution météorique est contrôlée par plusieurs facteurs dont le climat, la durée de la phase d'émersion, le couvert végétal, les systèmes hydrauliques et la composition minéralogique primaire des carbonates (James et Choquette, 1990). Si les structures de dissolution étaient reliées à la simple circulation des fluides météoriques lors de l'exondation de la plate forme carbonatée, les structures qui en sont issues devraient en principe présenter les mêmes caractéristiques partout en raison de l'extension régionale de la discordance, et leur distribution spatiale devrait être limitée à la discordance et aux faciès carbonatés immédiatement sous-jacents.

De tout le cortège de structures karstiques reconnues dans le district de Touissit-Bou Beker, seules les paléodolines de la phase I répondent à ces deux exigences. Elles ne représentent à peine que 10 % des structures reconnues et sont dépourvues d'intérêt économique. Leurs matériaux de remplissage, constitués de shales de teinte vert noirâtre au lieu d'une teinte rougeâtre, indiquent que la phase d'émersion fini-Aalénobajocien était de courte durée.

Par ailleurs, les études de terrain montrent qu'à l'échelle du district de Touissit-Bou Beker les structures karstiques (paléo-karsts hydrothermaux, brèches d'effondrement, sédiments internes et géodes) ne sont pas restreintes à la partie sommitale de la formation dolomitique immédiatement sous-jacente à la discordance, mais plutôt généralisées à l'ensemble des strates dolomitiques y compris celles des niveaux inférieurs surplombant directement le socle paléozoïque. De plus, certaines structures karstiques transgressent la discordance aalénobajocienne pour former de véritables réseaux de paléo-karsts au niveau des shales, des grès et des dolomies du Callovo-Oxfordien. Ces observations indiquent, sans ambiguïté, que le développement des principales structures de dissolution du district de Touissit-Bou Beker postdate la discordance, et est par conséquent sans rapport avec la phase d'émersion ayant succédé au dépôt de la formation dolomitique aalénobajocienne. De plus, étant donné que la distribution spatiale des principales structures de dissolution est limitée aux gisements économiquement exploitables, et que leurs matériaux de remplissage sont constitués de dolomite en selle, de sulfures (galène et blende principalement) et de bitumes, on conclut que le développement des structures karstiques est lié à la circulation des fluides minéralisateurs, chauds et salins. En effet, les données des inclusions fluides, réalisées sur les cristaux de blende et de dolomite en selle (Dupuy, 1983 ; Makhoukhi, 1993 ; Bouabdellah, 1994), indiquent que les solutions minéralisatrices à l'origine du minerai plombo-zincifère et des structures de dissolution asso-

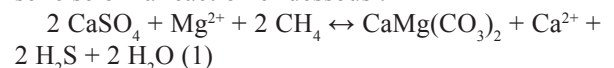
ciées correspondent à des saumures bassinales chaudes dont les températures moyennes sont de l'ordre de 100° C et des salinités supérieures à 15 % équivalent poids NaCl. Le concept de karst hydrothermal a été introduit sur la base de l'hypothèse selon laquelle les structures karstiques et leurs matériaux de remplissage (minerai) sont contemporains. Si l'origine hydrothermale des minéralisations Pb-Zn ne fait plus l'ombre d'aucun doute comme en témoignent les données des inclusions fluides, la simultanéité de mise en place des minéralisations et des structures karstiques reste cependant à élucider de manière à établir un lien génétique entre les deux processus.

En effet, la contemporanéité de mise en place des phénomènes de karstification hydrothermale et des processus de précipitation est démontrée par l'existence, au sein d'un gisement donné, de plusieurs phases de bréchification se chevauchant dans le temps avec les phases de minéralisation. Les phases minérales les plus jeunes entourent et englobent les produits clastiques issus de la désintégration des phases minérales précoces. De plus, les zones de brèches montrent des structures concentriques matérialisées par la disposition de plusieurs générations de sulfures alternant avec les minéraux carbonatés (dolomite en selle principalement) ; les phases minérales récentes étant plus extensives que les phases précoces (Sass-Gutkiewicz, 1996).

Parmi les principaux mécanismes pouvant conduire à la dissolution hydrothermale, on peut citer : la réduction sulfatée thermochimique, la maturation de la matière organique, et/ou le refroidissement de saumures hydrothermales enrichies en CO₂ (Qing et Mountjoy, 1994).

1 - Réduction sulfatée thermochimique

La réduction sulfatée thermochimique dont la cinétique des réactions chimiques se déroule à des températures supérieures à 80° C, conduit à la dissolution des carbonates et à la précipitation de la dolomite en selle selon la réaction ci-dessous :



Notons à ce propos, que les produits issus de la dissolution (karsts et brèches d'effondrement) et la précipitation de la dolomite en selle ne sont pas nécessairement liés à la circulation des fluides minéralisateurs (Anderson et Garven, 1987). Leur formation serait plutôt reliée à la réduction thermochimique, au cours de l'enfouissement profond, des gaz légers emprisonnés dans les réservoirs carbonatés ; ce qui explique la présence au sein des gisements de type MVT de brèches d'effondrement stériles.

En outre, l'acide sulfurique (H₂S) libéré au cours de la réduction thermochimique (réaction 1) conduit dans les stades ultimes à la libération de nouveaux

acides, soit par précipitation de sulfures (réaction 2), soit par oxydation des eaux interstitielles emmagasinées dans les pores (réaction 3).



La libération de ces acides dans des environnements carbonatés conduit inévitablement à la dissolution et à la bréchification des roches encaissantes.

2 - Maturation thermique de la matière organique

La maturation thermique de la matière organique dispersée au sein des séries carbonatées encaissantes et son altération au cours de l'enfouissement profond peut également conduire à une succession d'épisodes de dissolution, de précipitation et de re-dissolution (Macqueen et Powell 1983 ; Siprakis et Heyl, 1990 ; Mazzullo et Harris, 1992). Les premières dissolutions sont ainsi catalysées par l'action des acides organiques libérés au cours des phases précoces de maturation de la matière organique. Avec l'augmentation de la température, les acides organiques précocement libérés se transforment en gaz carbonique (CO_2) et en méthane (CH_4). L'addition du CO_2 à une solution mère contenant des acides organiques a pour effet de décroître la solubilité des carbonates et donc leur précipitation.

A des températures encore plus élevées, les acides organiques se dégradent et perdent, de ce fait, leur pouvoir de tampon. Ainsi, l'addition continue de CO_2 diminue le pH de la solution mère ce qui engendre une série de dissolution au niveau des carbonates hôtes (Spirakis et Heyl, 1990). L'ampleur des phénomènes de dissolution dépend, entre autres, de la quantité relative d'acides organiques libérés. Les travaux de Bouabdellah (1994), Bouabdellah *et al.* (1996b et 2001) montrent que les quantités de matière organique dispersée au sein des dolomies encaissantes du district de Touissit-Bou Beker sont si peu abondantes qu'elles ne peuvent tenir compte de l'ampleur des dissolutions observées. Aussi, le rôle de la matière organique en tant que principal moteur à l'origine des dissolutions

observées au niveau du district de Touissit-Bou Beker paraît peu vraisemblable.

3 - Refroidissement de saumures chaudes enrichies en CO_2

A une pression donnée de CO_2 , la concentration de saturation des ions carbonatés dissous augmente avec la diminution de la température («cooling corrosion», Qing et Mountjoy, 1999). Le refroidissement d'une saumure hydrothermale enrichie en CO_2 , lors de son ascension vers les niveaux supérieurs, peut générer d'importantes dissolutions au niveau des carbonates hôtes. A cet égard, dans le district de la Haute Silésie (Pologne), Leach *et al.* (1996) ont montré que les inclusions fluides piégées dans les cristaux de dolomite précoces sont riches en CO_2 et pauvres en H_2S ce qui semble être compatible avec le modèle selon lequel les principales dissolutions hydrothermales observées seraient l'oeuvre de la circulation et du refroidissement de saumures enrichies en CO_2 . Dans le même ordre d'idée, Bakalowicz *et al.* (1987) ont invoqué un modèle similaire pour expliquer la genèse des cavités de dissolution creusées au sein des calcaires et des dolomies du Mississippien de Black Hills (Dakota du Sud).

En effet, avec la diminution de la pression résultant de la remontée en surface des solutions minéralisatrices, il s'en suit une chute de la pression hydrostatique et par voie de conséquence une démixtion (ex-solution) partielle de la phase gazeuse (CO_2). Ce phénomène de dégazage conduit à la précipitation de la dolomite en selle (dolomite hydrothermale) et de la calcite (Leach *et al.*, 1996). Les sources d'enrichissement en CO_2 incluent la matière organique, les espèces organiques dissoutes, la dissolution des minéraux carbonatés primaires au même titre que l'hydrolyse des minéraux argileux au cours de la diagenèse (Machel, 1987, Spirakis et Heyl, 1990 ; Hutcheon, 1992). Dans le cas du district de Touissit-Bou Beker, si le CO_2 libéré au cours des différents processus énumérés plus haut est introduit dans les fluides minéralisateurs, le refroidissement de ces derniers conduirait à la dissolution des roches dolomitiques hôtes.

CONCLUSION

Le district de Touissit-Bou Beker a connu la succession de trois phases de dissolution d'intérêt économique inégale. Les phases de dissolution I et III ont donné lieu à des structures karstiques qui ne représentent qu'à peine 10 % de l'ensemble des structures reconnues à l'échelle du district. Leur formation serait reliée à la circulation de fluides météoriques froids. En revanche, 90 % des structures de dissolution reconnues dans le district sont reliées à la phase de dissolution majeure II. Les structures paléo-karstiques qui en sont produites, dont les paléo-karsts

hydrothermaux tabulaires et prismatiques au même titre que les brèches d'effondrement, transgressent la discordance marquant la limite Aalénobajocien-Bajocien supérieur ce qui indique que leur formation est sans rapport avec la phase d'émersion fini-Aalénobajocien. Leur formation serait plutôt reliée à la circulation, au cours de l'enfouissement profond, de fluides hydrothermaux (saumures bassinales) qui, au cours de leur ascension à travers l'aquifère dolomitique aalénobajocien, précipitent leur contenu en donnant lieu aux produits de remplissage des paléo-karsts

hydrothermaux et des brèches d'effondrement associées (sulfures, dolomite en selle et pyrobitumes). Ces fluides, de composition acide, percolent les roches hôtes à travers les plans de discontinuité majeurs tels que les fractures, les failles, les porosités inter cristallines, et les structures paléo-karstiques météoriques issues de la première phase de dissolution. Il en résulte un remplacement sélectif des carbonates hôtes perméables suivi simultanément de leur dissolution. De ce fait, les phénomènes de dissolution hydrothermale et l'emplacement des minéralisations Pb-Zn sont synchrones comme en témoigne la présence, au sein des structures bréchiques, de fragments de roches corrodés et localement complètement dissous. Les espaces ouverts ainsi créés sont colmatés par le minerai plombo-zincifère.

Par ailleurs, si l'origine des fluides responsables des dissolutions hydrothermales et des minéralisations associées demeure énigmatique, trois principaux processus à l'origine de ces dissolutions hydrothermales sont invoqués. Il s'agit de la réduction thermochimique, la maturation thermique de la matière organique et/ou le refroidissement de saumures chaudes enrichies en CO₂. En guise de conclusion, on retiendra que les dissolutions hydrothermales jouent un rôle capital dans la genèse des structures paléo-karstiques hôtes des minéralisations Pb-Zn du district de Touissit-Bou Beker. Le rôle des dissolutions météoriques, quoiqu'important, reste mineur. Ces conclusions concordent avec celles obtenues sur d'autres districts de même type au travers le monde dont ceux situés en Amérique du Nord et en Europe.

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à remercier les deux relecteurs anonymes qui, par leurs commentaires pertinents, m'ont permis d'enrichir et surtout d'améliorer la qualité du présent manuscrit. Une mention spéciale est adressée à mon Professeur Dominique Gasquet qui, par son soutien indéfectible, m'a encouragé à rédiger cette note de synthèse sur les paléo-karsts hydrothermaux ; qu'il en soit vivement remercié. Notons enfin que notre recherche a bénéficié du support financier des Programmes de Recherche et d'Appui à la Recherche Scientifique du Maroc Protars II (P23/33) et de Recherche Globale (PGR) de l'Université Mohammed Premier d'Oujda.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON G.M., 1983. Some geochemical aspects of sulfide precipitation in carbonate rocks, in Kisvarsanyi, G., Grant, S.K., Pratt, W.P., and Koenig, J.W., eds. International Conference on Mississippi Valley Type Lead-Zinc Deposits. Proceedings Volume, University of Missouri, Rolla, Missouri, 61-76.
- ANDERSON G.M., GARVEN G., 1987. Sulfate-sulfide-carbonate associations in Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. *Economic Geology*, 82, 482-488.
- BAKALOWICZ M.J., FORD D.C., MILLER T.E., PALMER A.N., PALMER M.V., 1987. Thermal genesis of dissolution caves in the Black Hills, South Dakota. *Geological Society of America Bulletin*, 99, 729-738.
- BOGACZ K., DZULYNSKI S., HARANCZYK C., 1970. Ore-filled hydrothermal karst features in the Triassic rocks of the Cracow-Silesia region. *Acta Geologica Polonica*, 20, 247-265.
- BOUABDELLAH M., 1993. Métallogenèse d'un district de type Mississippi Valley, cas de Beddiane, district de Touissit-Bou Beker, Maroc. Th. de doctorat, École Polytechnique de Montréal, Canada, 367 p.
- BOUABDELLAH M., BROWN A.C., SANGSTER D.F., 1994. MVT characteristics of lead-zinc mineralization at the Beddiane deposit, Touissit-Bou Beker mining district, northeastern Morocco. Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts, 19, A13.
- BOUABDELLAH M., BROWN A.C., SANGSTER D.F., 1995. Geology of the Beddiane Mississippi Valley-type Pb-Zn deposit, Touissit-Bou Beker mining district, northeastern Morocco. Society of Economic Geologist, International Field Conference on Carbonate-Hosted Lead-Zinc Deposits, June 3-6, 1995, St. Louis, Missouri. Extended Abstracts Volume, 23-25.
- BOUABDELLAH M., BROWN A.C., SANGSTER D.F., 1996a. Mechanisms of formation of internal sediments at the Beddiane lead-zinc deposit, Touissit-Bou Beker mining district, northeastern Morocco. In Sangster, D.F., ed., Carbonate-Hosted Lead-Zinc Deposits. *Society of Economic Geologists, Special Publication Number 4*, 356-363.
- BOUABDELLAH M., HEROUX Y., BROWN A.C., 1996b. Pétrologie et altération de la matière organique du gisement de plomb-zinc-cuivre de Beddiane, district de Touissit-Bou Beker, Maroc nord oriental. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 33, 1363-1374.
- BOUABDELLAH M., HEROUX Y., CHAGNON A., 2001. Zonation of organic matter reflectances and clay mineral assemblages around MVT deposits of Touissit-Bou Beker district, northeastern Morocco. In Piestrzynski et al. (eds.), Mineral Deposits at the Beginning of the 21st Century, 6th Biennial SGA-SEG Meeting, Krakow, Poland, 22-26 August 2001, 39-42.
- CHOQUETTE P.W., JAMES N.P., 1987. Diagenesis 12, Diagenesis in limestone-3. The deep-burial environment. *Geoscience Canada*, 14, 3-35.

- COWELL D.W., 1976. Karst geomorphology of the Bruce Peninsula, Ontario. Th. de Master, McMaster University, Hamilton, Ontario Canada.
- DESROCHERS A., JAMES N.P., 1988. Early Pleozoic surface and subsurface paleokarsts: Middle Ordovician carbonates, Mingan Islands. In James, N.P. et Choquette, P.W., eds., *Paleokarst*, Springer-Verlag, New York, 183-210.
- DUPUY J.-J., 1984. Etude du gîte plombifère de Oued Mekta (Maroc oriental); essai d'explication de la répartition des métaux (Pb, Zn, Cu, Ba) dans le district de Touissit-Bou Beker. Th. de doctorat, Université d'Orléans, France, 268 p.
- DZULYNSKI S., 1976. Hydrothermal karst and Zn-Pb sulfide ores. *Annales de la Société Géologique de Pologne*, 46, 217-230.
- DZULYNSKI S., SASS-GUSTKIEWICZ M., 1980. Dominant ore-forming processes in the Cracow-Silesian and eastern-Alpine zinc-lead deposits. In Ridge, J.D., ed., *Proceedings of the fifth quadrennial IAGOD symposium, vol. I: Stuttgart, E. Schweizerbart'sche*, 416-427.
- ESTEBAN M., KLAPPA C.F., 1983. Subaerial exposure environment. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 33, 2-54.
- HARRIS L.D., 1971. A Lower Paleozoic paleoaquifer: The Kingsport Formation and Mascot Dolomite of Tennessee and southwest Virginia. *Economic Geology*, 66, 735-743.
- HILL W.T., MORRIS R.G., HAGEGEORGE G.C., 1971. Ore controls and related sedimentary features at the Flat Gap mine, Treadway, Tennessee. *Economic Geology*, 66, 748-756.
- HUTCHEON I., 1992. Sources of CO₂, organic acids and H₂S during diagenesis and their influence on carbonate dissolution. In Sub-surface dissolution porosity in carbonates-recognition, causes and implications. American Association of Petroleum Geologists and Canadian Society of Petroleum Geologists Short Course Notes, part 2, 20 p.
- JAMES N.P., CHOQUETTE P.W., 1990. Limestones: The meteoric diagenetic environment. In McIlreath, I.A., and Morrow, D.W., eds., *Diagenesis: Geoscience Canada Reprint Series*, 4, 13-34.
- JENNINGS J.N., 1971. Karst. Cambridge, MA, MIT Press, 252 p.
- KYLE J.R., 1981. Geology of Pine Point lead-zinc district. In Wolf, K.H., ed., *Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits*: New York, Elsevier, 9, 643-741.
- LEACH D.L., SANGSTER D.F., 1993. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. In Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorp, R.I., and Duke, J.M., eds., *Mineral Deposit Modeling. Geological Association of Canada Special Paper*, 40, 289-314.
- LEACH D.L., VIETS J.G., KOZLOWSKI A., KIBITLEWSKI S., 1996. Geology, geochemistry, and genesis of the Silesia-Cracow zinc-lead district, Southern Poland. In Sangster, D.F., ed., *Carbonate-Hosted Lead-Zinc Deposits. Society of Economic Geologists, Special Publication*, 4, 144-170.
- MACHEL H.G., 1987. Some aspects of diagenetic sulphate-hydrocarbon redox reactions. *Geological Society [London] Special Publication*, 36, 15-28.
- MACQUEEN R.W., POWELL T.G., 1983. Organic geochemistry of the Pine Point lead-zinc ore field and region, Northwest Territories, Canada. *Economic Geology*, 78, 1-25.
- MAKHOUKHI S., 1993. Le gisement de plomb de Beddiane (Maroc oriental) : Gîtologie et éléments de modélisation d'une minéralisation de type Mississippi Valley. Th. de doctorat, École Normale Supérieure de Paris, France, 124 p.
- MASLYN R.M., 1977. Recognition of fossil karst features in the ancient record: a discussion of several common karst forms. *Rocks Mt. Assoc. Geologists Symposium*, Denver, CO, 311-319.
- MAZZULLO S.J., HARRIS P.M., 1992. Mesogenetic dissolution: its role in porosity development in carbonate reservoirs. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 76, 607-620.
- OHLE E.L., 1985. Breccias in Mississippi Valley-type deposits. *Economic Geology*, 80, 1736-1752.
- QING H., MOUNTJOY E.W., 1994. Origin of Dissolution Vugs, Caverns, and Breccias in the Middle Devonian Presqu'île Barrier, Host of Pine Point Mississippi Valley-Type Deposits. *Economic Geology*, 89, 858-876.
- QUINLAN J. F., 1972. Karst related mineral deposits and possible criteria for the recognition of palaeokarsts: A review of preservable characteristics of Holocene and older karst terranes. *Internat. Geol. Cong.*, 24th Montreal, Sec. 6, 156-167.
- RHODES D., LANTOS E.A., LANTOS J.A., WEBB R.J., OWENS D.C., 1984. Pine Point orebodies and their relationship to the stratigraphy, structure, dolomitization and karstification of the middle Devonian barrier complex. *Economic Geology*, 79, 991-1055.
- SAMSON P., 1973. Un gisement plombo-zincifère en milieu récifal: Touissit (Maroc oriental). *Service Géologique du Maroc, Notes et Mémoires*, 242, 133 p.
- SANGSTER D.F., 1988. Breccia-hosted lead-zinc deposits in carbonate rocks. In James, N.P. and Choquette, P.W., eds., *Paleokarst*: New York, Springer-Verlag, 102-116.
- SASS-GUSTKIEWICZ M., DZULYNSKI S., RIDGE J.D., 1982. The emplacement of ores in the Upper Silesian district. A contribution to the understanding of Mississippi Valley-type deposits. *Economic Geology*, 77, 392-412.
- SASS-GUSTKIEWICZ M., 1996. Internal sediments as key to understanding the hydrothermal karst origin of the Upper Silesian Zn-Pb ore deposits. *Society of economic Geologists Special Publication*, 4, 171-181.
- SPIRAKIS C.S., HEYL A., 1988. Possible effects of thermal degradation of organic matter on carbonate paragenesis and fluorite precipitation in Mississippi Valley-type deposits. *Geology*, 16, 117-1120.
- SPIRAKIS C.S., HEYL A., 1990. Organic matter as the key to localization of Mississippi Valley-type ores. 8th IAGOD Symposium, August 1990, Ottawa, Program with Abstracts, A36-A37.
- SWEETING M.M., 1973. Karst landforms. London, Macmillan Publ. Co., 362 p.
- VOIRIN J., 1965. Géologie du gisement plombo-zincifère de Bou Beker, in Colloque sur les Gîtes Stratiformes de Plomb, Zinc et Manganèse du Maroc. *Service Géologique du Maroc, Notes et Mémoires*, 181, 21-68.
- WRIGHT V.P., 1982. The recognition and interpretation of paleokarsts: two examples from the lower Carboniferous of South Wales. *J. Sedimentary Petrology*, 52, 83-94.

LA NATURE DES FLUIDES HYDROTHERMAUX DES TOURMALINITES DU MASSIF GRANITIQUE PERMIEN DU MENT MAROC CENTRAL

COUPLAGE DE LA MINÉRALOGIE DES TOURMALINES ET DE L'ÉTUDE DES INCLUSIONS FLUIDES

HYDROTHERMAL FLUIDS FROM THE TOURMALINITES IN THE PERMIAN MENT GRANITE MASSIF (CENTRAL MOROCCO): INSIGHT FROM A COUPLED TOURMALINE MINERALOGY-FLUID INCLUSION STUDY

ABDELLAH BOUSHABA¹ et CHRISTIAN MARIGNAC²

¹ UFR « Pétrologie », Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences, Dhar El Mahraz, BP.1796, Atlas-Fès, Maroc.
boushaba@caramail.com

² G2R CNRS-UMR 7566, Université Henri Poincaré, BP 236, F 54501 Vandœuvre Les Nancy Cedex 12.
Christian.Marignac@mines.inpl-nancy.fr

RÉSUMÉ

Le pluton du Ment, d'âge permien, est remarquable par l'importance et la diversité de ses altérations hydrothermales, de même âge. Ces altérations affectent l'encaissant (tourmalinisation des flyschs namuro-westphaliens de l'auréole de contact) et les deux lignées de granitoïdes qui forment le massif : granodiorite à biotite (masse principale) et leucogranites peralumineux. Deux épisodes hydrothermaux se sont succédés : altérations à quartz stable (greisens, quartz-tourmalinites), développées à ca. 500 °C et 50 Mpa par des fluides aquo-carboniques, et altérations à quartz instable (muscovitisation, tourmalinisation). L'étude de ces dernières a été effectuée en combinant la microthermométrie des inclusions fluides et la minéralogie détaillée des tourmalines zonées (MEB, Microsonde électronique). Il apparaît que la tourmalinisation tardive s'est faite dans les conditions d'un champ géothermique de haute enthalpie (températures jusqu'à 400 °C et plus, profondeur kilométrique) et implique des mélanges entre trois pôles hydrothermaux : un fluide magmatique, un fluide issu de l'auréole de contact et un fluide superficiel percolant dans les granites avec lesquels il s'équilibre. Ces mélanges se font en proportion variable dans l'espace et dans le temps, en fonction de l'activité tectonique qui rythme les circulations et détermine les drains majeurs.

MOTS-CLÉS : PLUTON DU MENT, MAROC CENTRAL, HYDROTHERMALISME, TOURMALINE ZONÉE, INCLUSIONS FLUIDES, MÉLANGE DE FLUIDES

ABSTRACT

The Permian Ment massif is famous for its hydrothermal alterations. The massif comprises a main intrusion of biotite granodiorite and several minor peraluminous granite plutons, both affected by the whole spectrum of alterations. In addition, the surrounding Namurian-Westphalian flyschs display huge bodies of massive tourmalinites.

Two alteration styles are recognized: (i) early quartz-stable associations (greisens, quartz-tourmalinites) developed at ca. 500 °C and 50 MPa from CO₂-rich C-O-H-N fluids, and (ii) later quartz-unstable assemblages (muscovites, tourmalinites).

Late stage hydrothermalism was studied combining a classical microthermometric fluid inclusion study and a detailed mineralogical study of zoned tourmaline crystals (SEM, electron microprobe). Late tourmalinisation occurred in a high enthalpy geothermal system at low pressure and high temperature (ca. 400 ° to 200 °C, 30 to 10 MPa), and was driven by mixing processes between three hydrothermal end-members: a magmatic fluid, a fluid derived from the metamorphic surrounding rocks and a surficial fluid infiltrated at various depths in the granite masses and experiencing re-equilibration with the granite rocks. Mixing proportions were extremely variable in time and space, being controlled by episodic tectonic activity.

KEYWORDS: MENT PLUTON, CENTRAL MOROCCO, HYDROTHERMALISM, ZONED TOURMALINE, FLUIDS INCLUSIONS, FLUID MIXING

INTRODUCTION ET CADRE GÉOLOGIQUE

Situé à 40 Km au nord de la ville de Khénifra, le complexe granitique du Ment (Figure 1), d'environ 100 km² de superficie, est remarquable par l'importance et la variété des altérations hydrothermales qui l'affectent (épisyrénitisation, greisenisation, muscovitisation, tourmalinisation) avec, notamment, de vastes corps de tourmalinite développés aux dépens de l'encaissant (flyschs namuro-westphaliens de l'aurole métamorphique de contact) (Boushaba, 1996).

Le massif du Ment, d'âge permien, est un pluton composite où coexistent deux lignées, l'une, calco-alcaline (lignée principale) avec essentiellement des granodiorites à biotite, l'autre peralumineuse, avec des leucogranites riches en fluor et en lithium (Boushaba, 1989) (Figure 1). L'étude des altérations hydrothermales a conduit à opposer un hydrothermalisme précoce, caractérisé par des altérations à quartz stable (greisens, quartz-tourmalinites massives, veines à quartz) et un hydrothermalisme tardif (mais toujours d'âge permien) conduisant à des altérations à quartz instable (épisyrénites feldspathiques, muscovites, et surtout tourmalinisation tardive) (Boushaba

et Marignac, 1996).

Les fluides responsables de l'hydrothermalisme précoce et les conditions P-T de leur circulation ont fait l'objet de travaux antérieurs (Marignac et Zouhair, 1992). Ce sont des fluides aquo-carboniques circulant à ca. 500 °C et ca. 50 MPa (pression lithostatique, soit environ 2 km de profondeur).

La présente note a pour objectif de caractériser les fluides responsables de l'hydrothermalisme tardif et, en particulier, de la deuxième génération de tourmaline. L'approche adoptée est de combiner les résultats d'une étude classique d'inclusions fluides avec une étude détaillée de la composition des tourmalines. De nombreux travaux (e.g., Cavarretta et Puxeddu, 1990 ; Willner, 1992 ; Griffin *et al.*, 1996 ; Slack, 1996 ; Yavuz *et al.*, 1999 ; Béziat *et al.*, 1999 ; Von Goerne *et al.*, 1999) ont en effet démontré que les variations de la composition des cristaux de tourmalines zonées ont la capacité de révéler l'interaction de plusieurs fluides hydrothermaux, de compositions variables, arrivant à des moments différents dans le système hydrothermal.

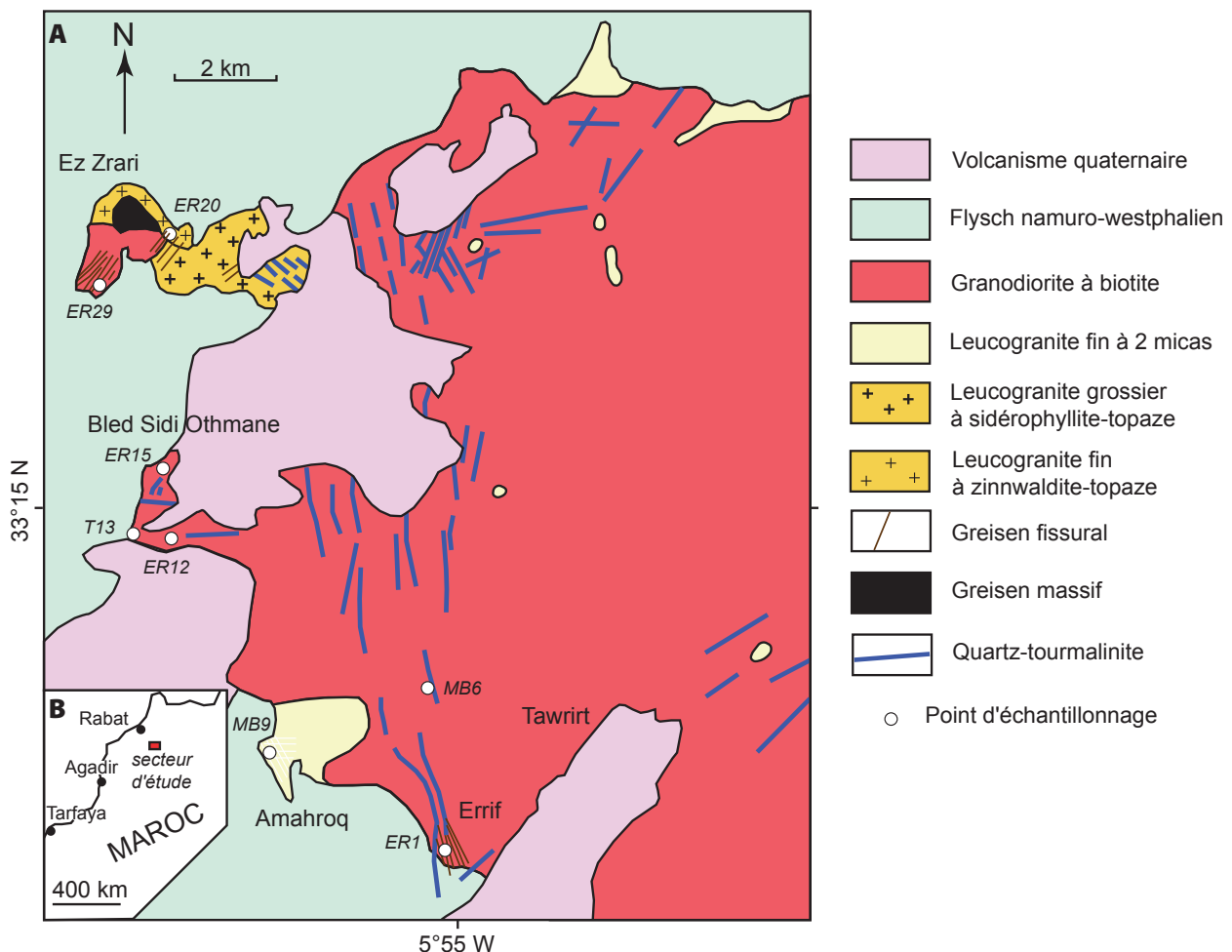


Figure 1 - A : Carte du secteur occidental du massif du Ment, avec la position des échantillons étudiés et B : localisation du secteur d'étude au Maroc .

I - MATÉRIEL ET MÉTHODES

1 - Matériel

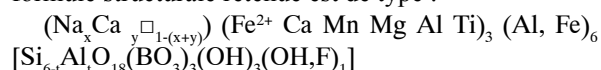
Les échantillons étudiés proviennent de cinq sites différents, trois dans le granite à biotite principal, deux dans des coupoles leucogranitiques (Figure 1). Ils ont été choisis en raison de la bonne expression des manifestations hydrothermales tardives (muscovitisation et tourmalinisation). Ces cinq sites sont :

- la coupole de leucogranite à zinnwaldite et à topaze d'Ez-Zirari : greisens recoupés de veinules de tourmalinite (tourmaline ER20) et IF dans le quartz d'un greisen affecté par la muscovitisation (ER29) ;
- la coupole de leucogranite fin à deux micas d'Amahroq : greisens affectés par une muscovitisation (géodes de dissolution à rosettes de muscovite), suivie d'une tourmalinisation ; tourmaline MB9 et IF dans le quartz du greisen (MB9) ;
- le secteur de Bled Sidi Othmane dans le granite à biotite : veinules de tourmalinite et tourmalinite massive surimposées à une épisynite (tourmaline T13, IF ER12) et IF d'une tourmalinite à quartz-tourmaline (ER15) ;
- le secteur d'Errif dans le granite à biotite : tourmaline des tourmalinites (ER3) et IF d'une veine de quartz recoupée par une veinule de tourmalinite (ER1) ;

- le secteur de Tawrirt dans le granite à biotite : IF d'un filon de quartz oblitéré par une géode à tourmaline (MB6).

2 - Méthodes

Pour chaque échantillon étudié, un cristal de tourmaline représentatif a été sélectionné à partir de l'examen au Microscope Electronique à Balayage (MEB), pour une étude détaillée de leur zonation couplant l'imagerie électronique et des profils effectués à la microsonde électronique (CAMEBAX et CAMECA SX50 ; Service Commun de Microanalyse de l'UHP-Nancy, période : 2000-2004). Les formules structurales ont été calculées en admettant la stoechiométrie en bore et oxygène, soit sur la base de [24,5 O]. Seules les analyses qui bouclent entre 85 et 89 % et dont le nombre d'atomes de Si p.f.u est égal ou inférieur à 6,05 ont été conservées. La formule structurale retenue est de type :



Les tourmalines se sont révélées dépourvues d'inclusions fluides et seuls les quartz de différentes générations ont pu être étudiés. L'étude microthermométrie a été effectuée au CRPG, Nancy, dans la période de 1990-1995, sur des surplattes Chaixmeca et Linkham montées sur microscope polarisant (Poty *et al.*, 1976).

II - ETUDE DES TOURMALINES ZONÉES

Les analyses des tourmalines étudiées sont présentées dans le Tableau 1. Toutes les tourmalines sont de type schorlite, à déficit d'alcalins (Figure 2). Elles apparaissent systématiquement zonées (Figures 3 à 6), avec des épisodes d'arrêt de croissance (Figure 4) ou même de dissolution (Figures 5 et 6), séparant des zones de compositions distinctes, dont le nombre peut aller jusqu'à quatre pour un cristal donné. Les variations régulières de composition à l'intérieur de ces

zones sont marquées par des corrélations ou des anti-corrélations inter-éléments (Al, Fe, Mg), selon trois modalités distinctes: Al est corrélé à Fe et anti-corrélé à Mg ; Al est corrélé à Mg et anti-corrélé à Fe ; Al est anti-corrélé à Fe et à Mg. Le sodium montre surtout des relations avec le magnésium. Le passage d'une zone à l'autre est marqué au contraire par des discontinuités, soulignées :

- par des changements dans la nature des corrélations

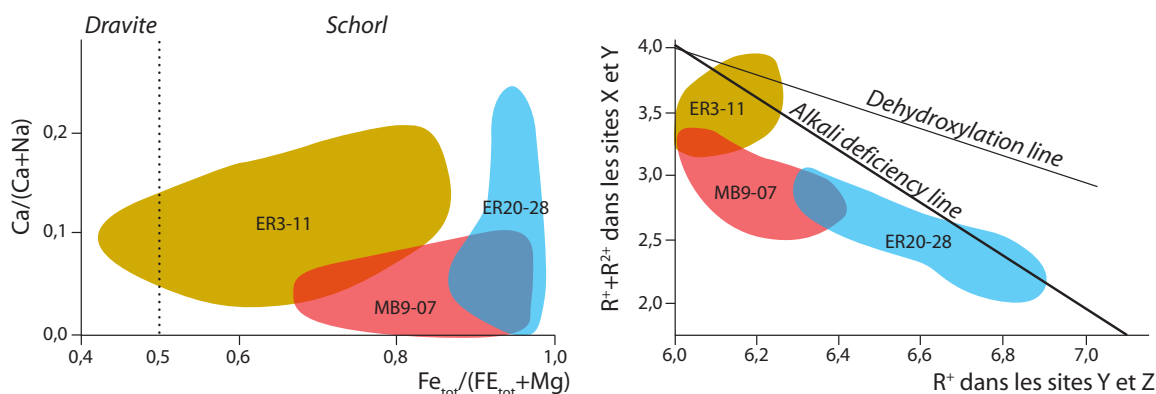


Figure 2 - Les tourmalines du Ment dans les diagrammes $(\text{Ca}/\text{Ca}+\text{Na})$ versus $(\text{Fe}_{\text{tot}}+\text{Mg})$ (A) et $(\text{R}^{3+}+\text{R}^{2+})$ dans les sites X et Y versus R^{3+} dans les sites Y et Z (B).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	34,26	33,94	34,85	36,05	34,75	34,33	34,14	34,73	32,93	33,16	35,12	35,94	35,76	35,83	35,50	35,76	34,97	34,77	36,04	35,00
Al ₂ O ₃	27,94	23,67	28,96	34,09	31,86	32,35	33,94	34,92	34,70	34,43	31,89	32,39	31,83	31,52	31,77	31,59	32,83	31,88	32,14	31,94
TiO ₂	1,86	1,43	1,15	0,20	0,62	0,61	0,31	0,31	0,68	0,61	0,01	0,45	0,41	0,47	0,67	0,53	0,45	0,42	0,44	1,23
FeO	17,48	25,21	15,16	15,51	15,48	15,39	14,83	13,56	14,31	14,68	17,03	13,84	12,61	13,68	15,83	16,23	15,46	15,22	15,06	16,03
MgO	1,77	0,62	2,44	0,57	1,69	1,01	1,13	0,93	0,49	0,46	1,17	2,53	4,02	2,83	1,39	1,09	1,12	1,89	1,72	1,28
MnO	0,00	0,23	0,02	0,12	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,03	0,17	0,20	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,08	0,02	0,51
CaO	0,45	0,24	0,59	0,03	0,19	0,12	0,05	0,07	0,06	0,10	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,21
Na ₂ O	2,29	2,43	2,35	1,47	2,31	2,17	1,90	1,99	1,83	1,74	1,96	2,22	2,62	2,22	2,20	2,15	2,18	2,33	2,19	2,14
K ₂ O	0,07	0,07	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,72	0,00	0,00	0,01
NiO	0,00	0,00	0,00	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,08	0,00	0,05	0,17	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02
Total	86,12	87,89	85,52	88,20	87,02	86,19	86,29	86,54	85,46	85,20	87,41	87,74	87,30	86,59	87,46	87,37	87,86	86,60	87,62	88,36
FE	2,493	3,699	2,144	2,102	2,146	2,152	2,057	1,858	2,006	2,062	2,362	1,881	1,716	1,881	2,181	2,293	2,126	2,116	2,058	2,198
NA	0,757	0,828	0,771	0,463	0,742	0,703	0,610	0,631	0,596	0,568	0,631	0,700	0,827	0,707	0,702	0,688	0,695	0,752	0,693	0,681
K	0,014	0,016	0,000	0,008	0,009	0,000	0,001	0,000	0,016	0,000	0,003	0,004	0,001	0,000	0,004	0,000	0,152	0,000	0,000	0,002
SI	5,843	5,955	5,895	5,838	5,761	5,739	5,661	5,692	5,520	5,569	5,824	5,840	5,817	5,892	5,847	5,900	5,751	5,778	5,889	5,738
MN	0,000	0,034	0,003	0,017	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,004	0,024	0,027	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,011	0,003	0,070
CA	0,081	0,044	0,107	0,005	0,034	0,022	0,009	0,012	0,011	0,017	0,000	0,000	0,005	0,007	0,000	0,000	0,005	0,000	0,003	0,036
NI	0,000	0,007	0,000	0,013	0,011	0,000	0,000	0,000	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000
AL	5,616	4,895	5,774	6,507	6,226	6,374	6,634	6,745	6,855	6,816	6,232	6,203	6,101	6,109	6,168	6,142	6,362	6,244	6,190	6,171
TI	0,239	0,189	0,147	0,025	0,077	0,077	0,038	0,039	0,086	0,078	0,002	0,055	0,050	0,058	0,083	0,065	0,056	0,053	0,054	0,152
CR	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,005	0,011	0,000	0,006	0,021	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,003
MG	0,451	0,163	0,615	0,137	0,418	0,252	0,279	0,226	0,123	0,114	0,288	0,614	0,975	0,694	0,342	0,269	0,275	0,469	0,418	0,313
Total	15,494	15,829	15,455	15,116	15,723	15,347	15,288	15,209	15,266	15,228	15,371	15,344	15,494	15,348	15,337	15,359	15,433	15,422	15,307	15,364

Tableau 1a - Tourmaline tardive ER3-11 d'un filon de tourmalinite développé dans le granite à biotite d'Errif.

lations : par exemple, dans la tourmaline ER3-11 (Errif, Figure 3), le passage de la zone I à la zone II est marqué par le passage d'un comportement corrélé à anti-corrélé du fer et de l'aluminium, tandis que la transition entre les zones IIIa et IIIb est soulignée par le changement de comportement du sodium, qui, de corrélé au magnésium, devient anti-corrélé ;

- par des sauts de teneurs pour certains éléments : par exemple, dans la même tourmaline ER3-11, chute des teneurs en aluminium dans la zone IV ; ou, dans la tourmaline T13-08 (Tawirt, Figure 6), fortes variations des teneurs en fer entre les zones II et III.

Il n'y a, en revanche, aucune tendance générale de composition des coeurs vers les périphéries, et si, par exemple, le coeur des tourmalines ER20-28 (Ez Zrari, Figure 4) et MB9-07 (Amahroq, Figure 5) est riche en calcium et titane, c'est le contraire pour les tourmalines T13-08 (Figure 6) et ER3-11 (Figure 3), où ces éléments sont plutôt enrichis dans les zones corticales.

Les diverses tendances évolutives, ainsi que les sauts de composition, sont bien visibles dans le diagramme Al-Fe-Mg de classification des tourmalines en fonction de leur environnement de Henry et Guidotti (1985) (Figure 7).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	35,90	35,24	35,66	35,95	35,73	35,37	35,43	35,82	35,68	35,78	33,54	35,12
Al ₂ O ₃	36,21	31,77	33,96	33,99	32,31	32,02	32,39	33,89	34,71	33,62	34,98	32,70
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,07	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
FeO	13,36	16,91	15,22	14,97	16,44	15,31	14,84	13,79	13,65	14,30	13,92	15,09
MgO	0,11	0,00	0,06	0,15	0,29	0,31	0,73	0,96	0,25	0,85	0,18	0,28
MnO	0,19	0,00	0,13	0,01	0,10	0,11	0,13	0,00	0,16	0,03	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,05	0,02	0,08	0,10	0,08	0,35	0,12	0,08	0,43	0,45
Na ₂ O	0,98	1,70	1,15	1,43	1,61	1,59	1,79	1,16	1,11	1,49	1,10	1,09
K ₂ O	0,00	0,03	0,05	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	0,00
NiO	0,07	0,00	0,08	0,03	0,06	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,05
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
Total	86,83	85,72	86,34	86,62	86,79	84,89	85,66	85,75	85,69	86,59	83,78	84,79
Fe	1,807	2,382	2,099	2,055	2,279	2,157	2,071	1,899	1,878	1,963	1,969	2,122
Na	0,309	0,555	0,366	0,456	0,517	0,520	0,578	0,369	0,353	0,473	0,360	0,355
K	0,000	0,007	0,011	0,000	0,010	0,003	0,000	0,000	0,000	0,011	0,012	0,000
Si	5,808	5,934	5,881	5,899	5,924	5,959	5,911	5,897	5,870	5,872	5,671	5,907
Mn	0,027	0,000	0,019	0,002	0,014	0,015	0,019	0,000	0,022	0,004	0,000	0,000
Ca	0,000	0,010	0,004	0,014	0,017	0,014	0,063	0,021	0,014	0,076	0,000	0,082
Ni	0,009	0,000	0,011	0,004	0,009	0,000	0,000	0,002	0,005	0,000	0,000	0,007
Al	6,905	6,305	6,600	6,574	6,313	6,357	6,370	6,575	6,732	6,503	6,971	6,482
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,009	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002
Mg	0,028	0,000	0,015	0,037	0,071	0,079	0,181	0,236	0,062	0,208	0,046	0,071
Total	14,892	15,193	15,006	15,040	15,168	15,114	15,192	14,999	14,937	15,114	15,028	15,027

Tableau 1b - Tourmaline ER20-28 d'un greisen développé sur le leucogranite à zinnwaldite et à topaze d'Ez-Zrari.

Tableau 1 - Compositions de trois tourmalines représentatives du système hydrothermal du Ment.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	36,58	36,30	36,02	35,84	36,16	35,85	35,27	35,52	35,19	35,39	35,65	35,71	35,71	35,63	35,41	35,15	35,20	35,53	35,21	35,38
Al ₂ O ₃	30,05	30,28	31,89	31,92	31,60	31,08	30,40	29,94	29,97	30,45	31,29	30,00	30,00	32,06	31,37	31,51	31,40	32,42	29,54	29,79
TiO ₂	0,74	0,85	0,30	0,32	0,38	0,59	0,70	0,52	0,45	0,28	0,38	0,14	0,14	0,26	0,22	0,22	0,06	0,12	1,45	0,19
FeO	14,25	10,75	14,18	14,82	14,18	11,97	14,92	15,10	16,34	16,00	15,22	17,29	17,29	14,52	14,65	15,06	15,79	14,89	17,06	16,77
MgO	2,48	5,27	0,84	1,76	1,79	3,15	1,40	1,73	0,79	0,61	0,71	0,30	0,30	0,55	0,75	0,53	0,49	0,26	0,27	0,28
MnO	0,00	0,00	0,15	0,12	1,03	0,06	0,00	0,00	0,17	0,02	0,14	0,22	0,22	0,10	0,16	0,00	0,12	0,00	0,02	0,42
CaO	0,20	0,99	0,03	0,14	0,98	0,20	0,00	0,27	0,37	0,29	0,23	0,26	0,26	0,29	0,42	0,27	0,19	0,31	0,17	0,18
Na ₂ O	2,24	1,95	2,11	2,08	2,27	2,35	2,14	2,45	1,89	2,11	1,87	2,22	2,22	1,62	2,08	1,89	2,12	1,68	2,52	2,19
K ₂ O	0,02	0,04	0,43	0,03	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,85	0,05	0,05	0,05	0,04	0,09	0,05	0,00	0,01	0,02	0,06
NiO	0,11	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,09	0,03	0,12	0,15	0,00	0,11	0,11	0,00	0,00	2,34	0,00	0,08	3,57	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
Total	86,66	86,43	85,98	87,03	88,49	85,27	84,93	85,62	85,29	86,13	85,54	86,31	86,31	85,07	85,18	88,92	85,36	85,30	89,87	85,28
Fe	1,965	1,466	1,970	2,040	1,930	1,660	2,108	2,124	2,319	2,255	2,133	2,438	2,438	2,033	2,061	2,061	2,227	2,083	2,360	2,390
Na	0,715	0,615	0,689	0,662	0,717	0,754	0,702	0,799	0,624	0,689	0,608	0,727	0,727	0,526	0,662	0,599	0,693	0,547	0,809	0,723
K	0,004	0,009	0,091	0,007	0,000	0,004	0,001	0,012	0,000	0,182	0,011	0,012	0,012	0,770	0,020	0,011	0,000	0,002	0,004	0,013
Si	6,034	5,917	5,984	5,895	5,882	5,942	5,959	5,974	5,974	5,967	5,976	6,022	6,022	5,968	5,957	5,754	5,936	5,946	5,824	6,027
Mn	0,000	0,000	0,020	0,016	0,142	0,009	0,000	0,000	0,025	0,003	0,020	0,032	0,032	0,014	0,022	0,000	0,017	0,000	0,002	0,061
Ca	0,035	0,173	0,005	0,025	0,171	0,035	0,000	0,049	0,067	0,052	0,041	0,047	0,047	0,053	0,076	0,047	0,035	0,055	0,031	0,033
Ni	0,015	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,012	0,005	0,016	0,020	0,000	0,015	0,015	0,000	0,000	0,308	0,000	0,011	0,475	0,000
Al	5,842	5,817	6,243	6,189	6,059	6,071	6,053	5,934	5,998	6,050	6,182	5,962	5,962	6,328	6,219	6,079	6,241	6,393	5,759	5,980
Ti	0,092	0,105	0,037	0,040	0,046	0,074	0,089	0,066	0,057	0,035	0,047	0,018	0,018	0,032	0,027	0,261	0,008	0,015	0,180	0,247
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000
Mg	0,609	1,280	0,209	0,430	0,434	0,779	0,353	0,434	0,201	0,152	0,178	0,075	0,075	0,138	0,188	0,129	0,123	0,064	0,067	0,072
Total	15,311	15,381	15,232	15,304	15,393	15,327	15,276	15,397	15,280	15,407	15,194	15,348	15,348	15,101	15,249	15,249	15,280	15,116	15,518	15,324

Tableau 1 c - Tourmaline MB9-07 surimposée aux muscovites du leucogranite fin à deux micas d'Amahroc.

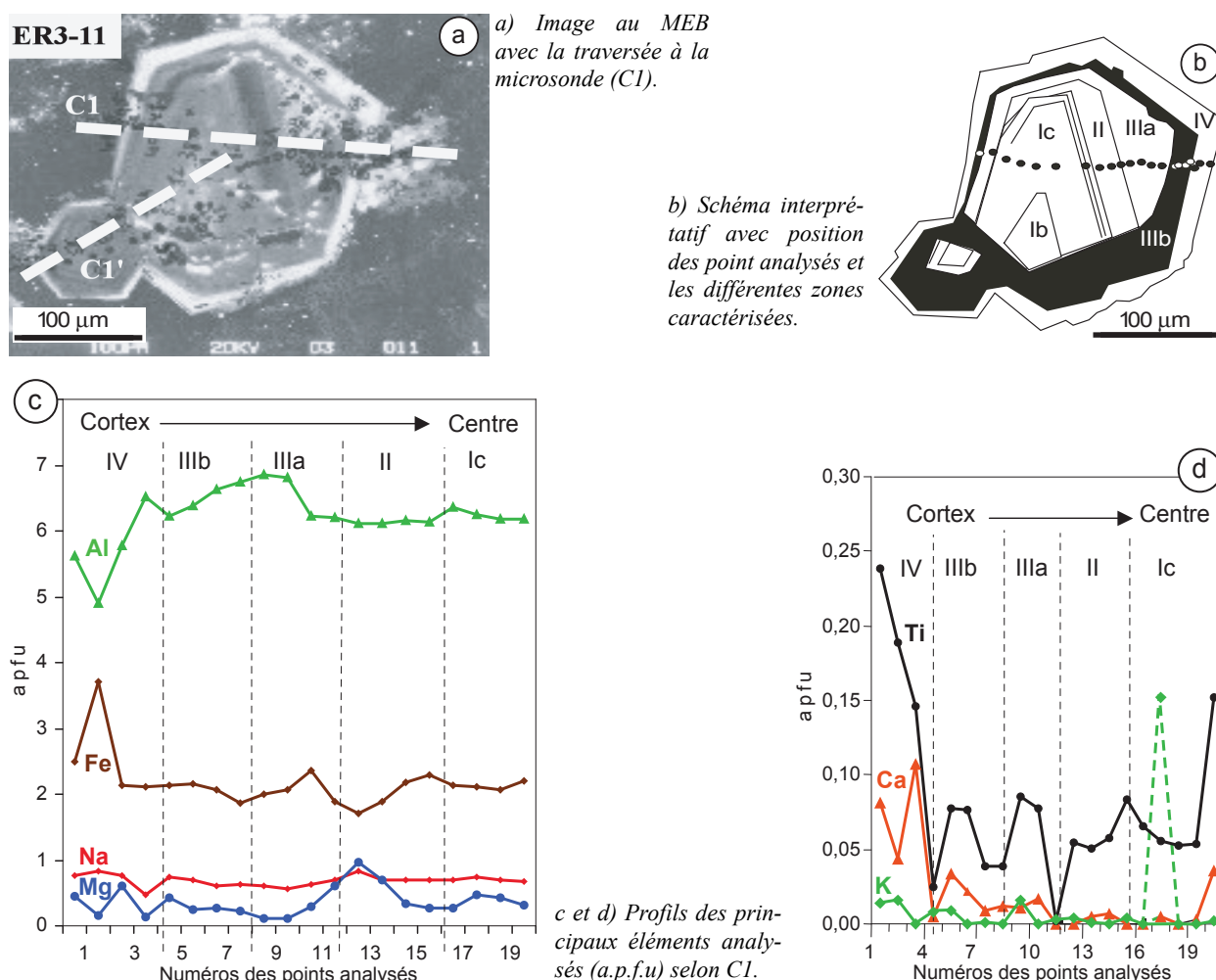
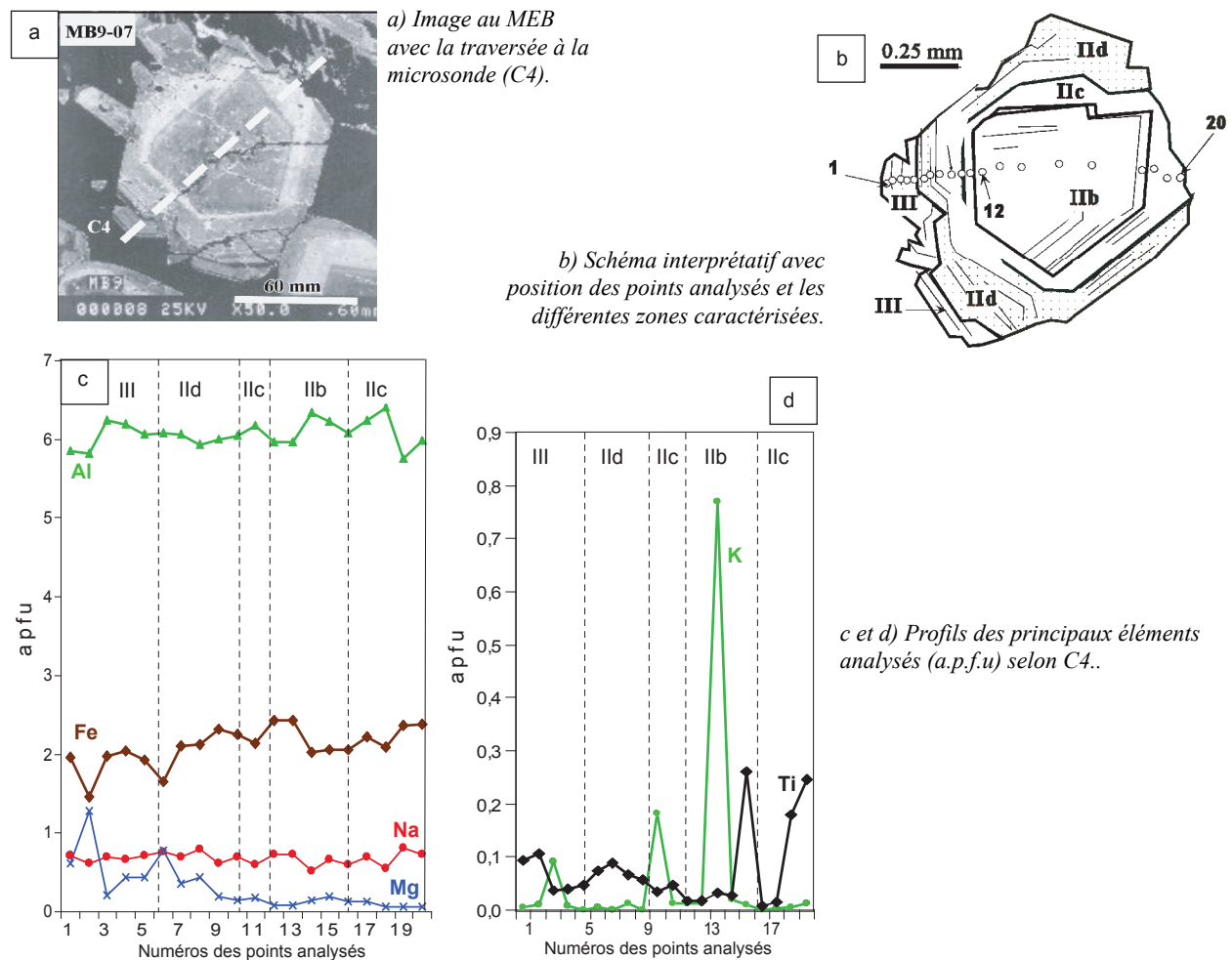
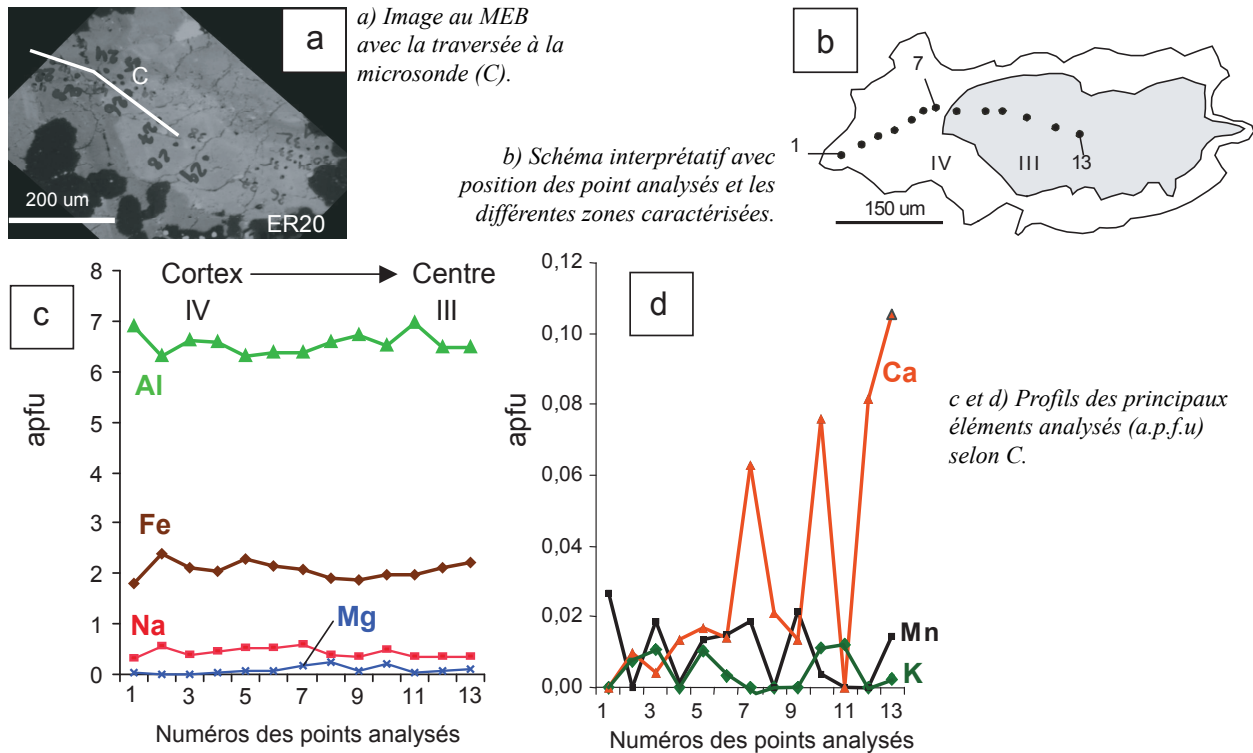


Figure 3 - Tourmaline ER3-11 du secteur d'Errif (les profils de la traversée C1' ne sont pas présentés ici, voir Boushaba 1996).



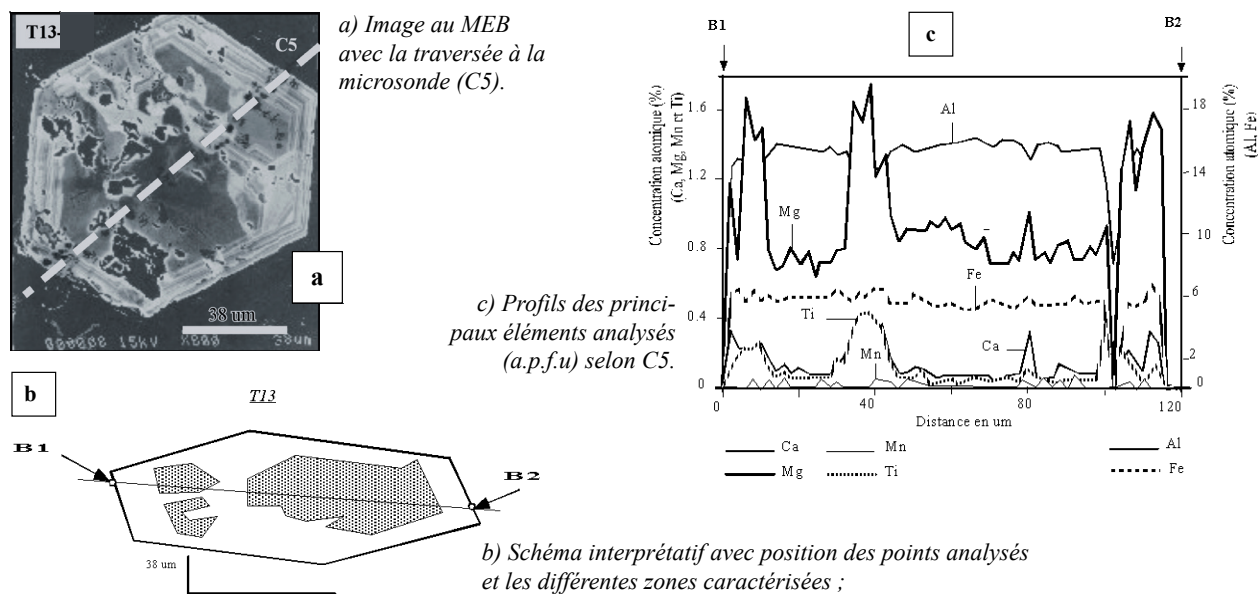
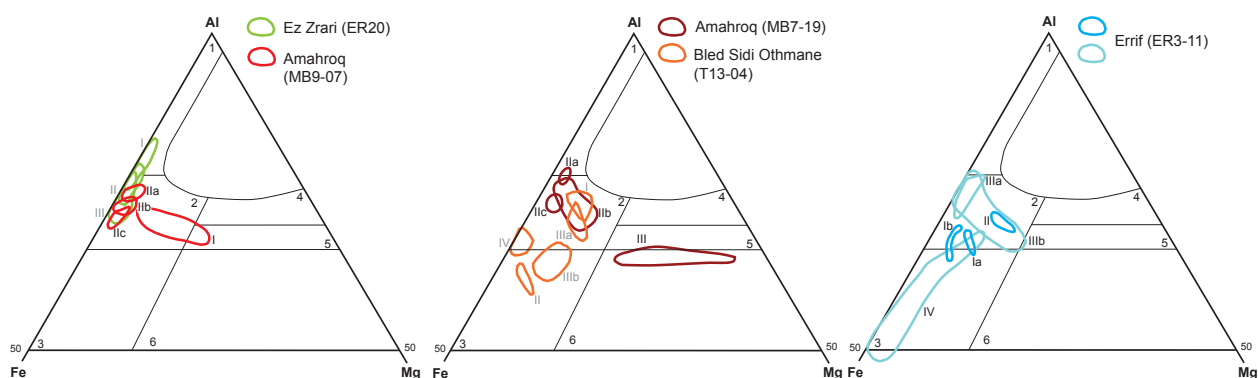


Figure 6 - Tourmaline T13-04 du secteur de Bled Sidi Othmane (NNW du granite de Ment).



III - MICROTHERMOMÉTRIE DES INCLUSIONS FLUIDES

1 - Typologie

La plupart des IF observées sont des IF purement aqueuses, dont la taille varie de 10 à 80 μm , subdivisées en fonction de leur mode d'homogénéisation (en phase vapeur : type Vw, avec des fraction volumique de vapeur fv de 0,5 à 0,8 ; ou en phase liquide : type Lw, avec des fv de 0,1 à 0,6) et de la présence éventuelle d'une ou de plusieurs phases solides (halite : LSh ; halite et sylvite : LS2 ; toutes avec des fv entre 0,05 et 0,3). Les échantillons ER1 (Errif) et MB6 (Tawrirt) contiennent en outre des inclusions à clathrates (type Lw-[m]), fv de 0,1 à 0,2, ou Vw-[m]). Les IF de type Lw ont été en outre subdivisées en deux groupes sur la base de leur morphologie : Lwa de formes régulières (proches de celles d'un cristal négatif) et Lwb, de formes irrégulières.

lières (proches de celles d'un cristal négatif) et Lwb, de formes irrégulières.

2 - Pétrographie

La totalité des IF observées sont des inclusions secondaires, disposées selon des plans de fracture cicatrisés (PIF) (Planche 1). Des intersections ont été observées, mais aucune tendance évolutive claire ne s'en dégage, il semble, au contraire, qu'en un point d'observation donné, puissent s'observer des récurrences des principaux types. Néanmoins, il est possible de dégager quelques tendances :

- de façon générale, les principaux types d'inclu-

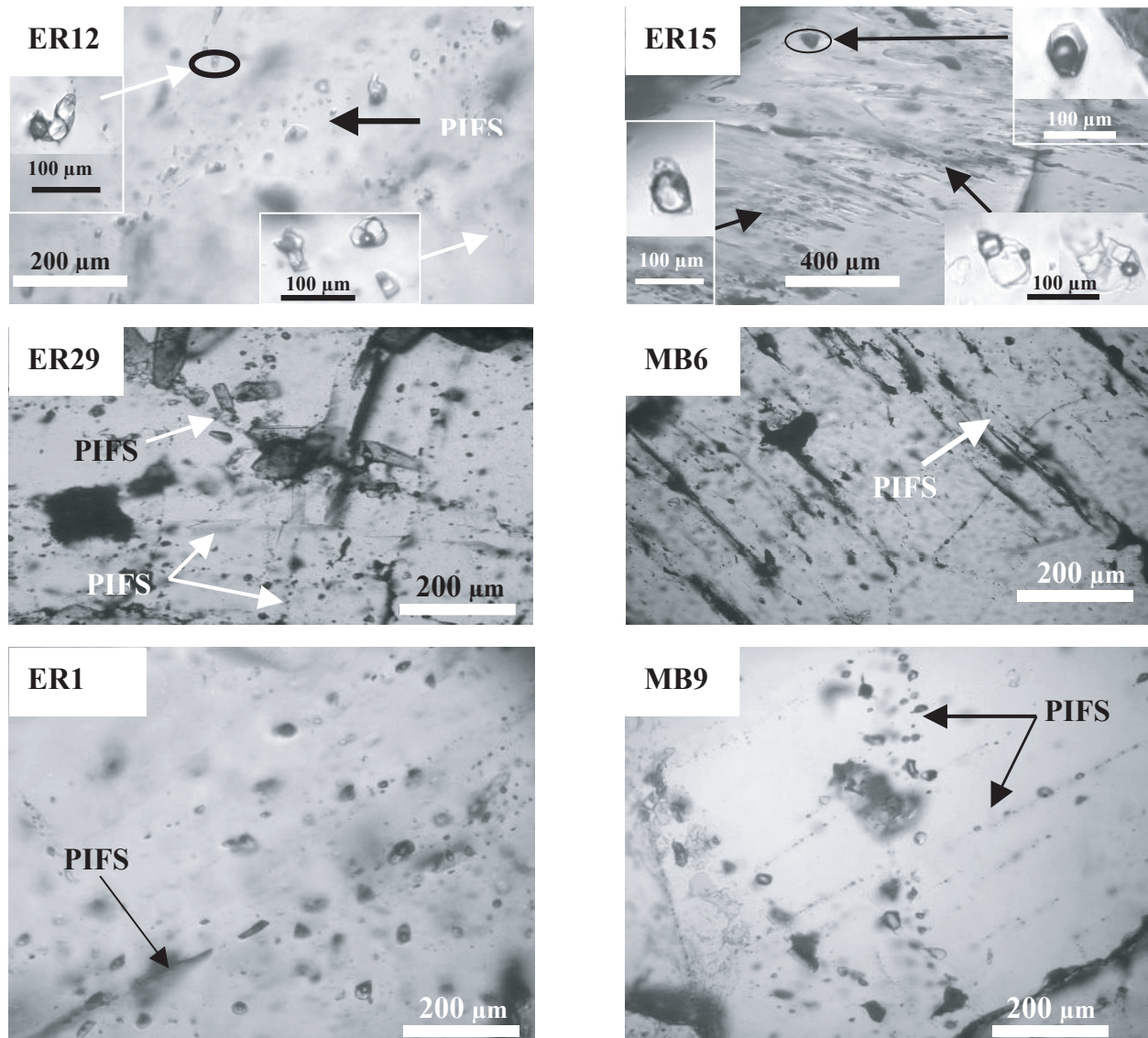


Planche 1 - Microphotographies des divers plans d'inclusions fluides secondaires (PIFs) associés à la tourmalinisation dans le Ment.

- sions se rencontrent dans toutes les stations, sauf à El Zrari (ER29), échantillon de greisen muscovitisé, mais sans tourmaline secondaire, où ne s'observent que les types Vws, Lwa et LSh ; par ailleurs MB6 (Tawrirt) et ER15 (Errif) sont les seuls échantillons à contenir des IF de type LS2 ;
- à Amahroq (MB9), où coexistent « vieux » quartz et quartz récent, tous les types d'IF se rencontrent dans les deux générations de quartz, à l'exception notable des Lwb, qui ne s'observent que dans les quartz récents.
 - à Bled Sidi Othmane (ER12 et 15), où des reliques de « vieux » quartz sont isolées dans du quartz limpide plus récent, c'est le « vieux » quartz qui contient tous les types d'IF, seules les Vw et les Lwa et Lwb étant présentes dans le quartz limpide, ainsi que de très rares et très petites LSh ;
 - à Tawrirt (MB6), les inclusions de type Lw-[m] sont étroitement associées à des fibres de la tourmaline tardive, ainsi qu'avec des inclusions Vw

où l'analyse par microspectrométrie Raman a révélé des traces de méthane – ce sont donc des Vw-[m].

3 - Microthermométrie

Le Tableau 2 donne les principales caractéristiques des IF mesurées dans chaque échantillon.

Les températures de première fusion de la glace (approximation des températures eutectiques T_e) n'ont en général été bien mesurables que dans les IF à cubes de sel (inférieures à -40°C), indiquant la présence de cations bivalents. Quoiqu'il y ait des raisons de penser que R^{2+} n'est pas (où pas seulement) Ca^{2+} (voir chapitre VI - 1), leur salinité a été évaluée à partir du système modèle $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ (Vanko *et al.*, 1988), complété par le système modèle $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{KCl}$ (Sternner *et al.*, 1988) en ce qui concerne les LS2, pour y évaluer le rapport K/Na. La salinité des autres types d'IF a été

	Te	Tm clath	Tm ice	Tm h	Tm S ₂	Th	NaCl	CaCl ₂
Amahroq								
MB9								
Vw			-0.6 à -17.5			295 à 440	1.1 à 21	
Lwa			-0.2 à -15			320 à 429	0.4 à 16.2	
Lwb			0 à -2.4			150 à 305	0 à 4	
LSh	-44			286 à 358	107 à 265	150 à 376	10 à 29 22 à 28	13 à 25 3 à 9
Ez Zrari								
ER29								
Vw			-5.2 à -20.3			355 à 343	8.1 à 22.6	
Lwa			-5 à -9			300 à 385	7.9 à 12.9	
LSh								
Errif								
ER1								
Vw			-0.1 à -18			310 à 453	0.2 à 21	
Lwa	-23		-3.2 à -14			340 à 430	5.3 à 17.8	
Lwb			-0.2 à -3.5			125 à 355	0.4 à 5.7	
LSh				155 à 376		281 à 420	18 à 26 34 à 38	7 à 14 6 à 17
Lw-(m)		7 à 11.3				210 à 380	0.5 à 1.9	
Bled Si Othmane								
ER12								
Vw			-2.2 à -4.5			395 à 410	3.7 à 4.2	
Lwa			-2 à -7.4			310 à 360	3.4 à 11.0	
Lwb			-2 à -4.6			160 à 195	3.4 à 7.3	
LS2	-35 à -34			325 à 440	199 à 281	189 à 328	36 à 49	6 à 9
ER15								
Vw			-7.2 à -20.5			355 à 390	10.7 à 22.7	
Lwa			-3 à -20.1			333 à 424	7.6 à 8.0	
Lwb			-4.8 à -5.1	327 à 429		198 à 382	17 à 43	5 à 21
LSh	-42							
Tawrirt								
MB6								
Vw			-0.3 à -8.4			350 à 396	0.5 à 12.1	
Lwa			-8.7 à -19.3			285 à 408	12.5 à 21.9	
Lwb			-9.5 à -12			186 à 266	8.9 à 14.8	
LSh	-41 à -45			178 à 358		295 à 394	22 à 35	11 à 23
Lw-(m)		2.8 à 14.1				290 à 416	16 à 23	

Tableau 2 - Résumé des mesures thermométriques et des estimations de composition des inclusions fluides du Ment.

estimée à partir du système modèle H₂O-NaCl (Bodnar, 1993), mais c'est également sans doute une première approximation, au moins pour les Lwa (voir chapitre VI - 1).

De façon générale :

- les Vw ont des salinités variables, faibles à modérées (0,5 à 21,6 % éq. NaCl) et des Th élevées (300-450 °C) ;
- les Lwa ont des Th élevées (320-430 °C), recouvrant largement celles des Vw, et des salinités faibles à moyennes (2-16 % éq. NaCl) ;
- les Lwb, dans l'ensemble moins salées (0-9 % éq. NaCl) ont aussi des Th plus basses (135-300 °C) ;
- les LSh, très salées, ont des rapports Na_{eq}/Ca_{eq} assez variables, curieusement plus faibles pour les échantillons issus des leucogranites (1,3-4,4 à Amahroq et surtout 1,5 à Ez Zrari) que pour

ceux du granite à biotite (2,2-6,3), et des Th très dispersées (130-440 °C), généralement supérieures aux températures de fusion de la halite (piégeage homogène), mais il existe des cas de piégeage hétérogène (Tm halite > Th) ;

- les LS2 ont des rapports K/Na très élevés (0,7-1,6), mais la halite y est fréquemment piégée de façon hétérogène, ce qui biaise les estimations de salinité ; néanmoins, les IF n'étant pas saturées en sylvite (Tm sylvite = Tm S₂ < Th), la richesse du fluide en potassium est une réalité ; les Th sont comprises entre 180 et 320 °C ;
- les Lw-[m] se distinguent par la présence de méthane, comme l'indiquent des températures de fusion des clathrates supérieures à 10 °C et l'association à des Vw-[m] à méthane ; leurs salinités sont très variables (0,5 à 23 % NaCl) et les Th vont de 210 à 440 °C.

IV - INTERPRÉTATIONS : ORIGINE DE LA ZONATION DES TOURMALINES

Henry et Guidotti (1985) en proposant leur modèle de classification des divers types de tourmalines dans le diagramme Al-Fe-Mg, qui rapporte le chimisme des tourmalines à celui des roches qui les hébergent, ont également suggéré la possibilité d'une relation avec les fluides qui leur ont donné naissance. Van den Bleeken *et al.* (2007) ont également montré que la composition des tourmalines reflète aussi bien la nature de la roche hôte que celle des fluides associés. Dans le cas des tourmalines du Ment qui, quoique intra-granitiques, sont évidemment hydrothermales, il semble donc que cette approche puisse être fructueuse. Nous partirons donc de l'hypothèse que les variations de composition des tourmalines du Ment reflètent les variations de composition des fluides hydrothermaux et, notamment, des phénomènes de mélange, comme observé, par exemple, dans les tourmalines de Cornwall (Williamson *et al.*, 1999). Il convient néanmoins de garder en mémoire que les compositions des tourmalines peuvent aussi dépendre de paramètres comme la température et la fugacité d'oxygène (par exemple Fuchs *et al.*, 1998), à des températures, toutefois, plus élevées que celles qui caractérisent les tourmalinisations du Ment (voir ci-dessous V).

Le modèle d'interprétation adopté relie les variations des styles de corrélation entre Al, Fe et Mg avec des mélanges entre des « pôles hydrothermaux » localisables dans le diagramme de Henry et Guidotti (1985). Il y aurait trois pôles : A (pôle alumineux), M (pôle magnésien) et F (pôle ferrique), qui correspondraient à des compositions de « pôles tourmaline » identifiables dans le diagramme d'Henry et Guidotti (1985), qui devient alors utilisable pour étudier les mélanges entre ces pôles fluides. C'est ainsi que des mélanges en proportions variables de ces trois pôles hydrothermaux expliqueraient les variations observées (Figure 8) :

- Al corrélié à Fe et anti-corrélé à Mg correspondrait au mélange d'un pôle magnésien (M) avec un premier mélange entre A et F ;
- Al corrélié à Mg et anti-corrélé à Fe correspondrait au mélange d'un pôle ferrique (F) avec un premier mélange entre A et M ;
- Al anti-corrélé à la fois à Mg et à Fe correspondrait au mélange d'un pôle alumineux (A) avec un premier mélange entre M et F.

La Figure 9 montre que ce modèle rend effectivement compte des variations de composition réelles, tout en conduisant à le raffiner : il y a, par exemple, deux pôles M (M1 et M2) ; de même, il faut envisager un pôle plus alumineux (A2) pour les tourmalines d'Ez Zrari.

En revanche, il semble clair que les tourmalines du Ment se sont formées partout à partir des mêmes fluides (comparer les Figures 9 a et c avec les Figures 9 b et d). De plus, les mélanges simples (A, F) paraissent particulièrement fréquents et rendent compte d'une

grande partie des compositions observées.

L'identification de la nature de deux des trois pôles semble également possible à partir du même diagramme AFM. En effet :

- les fluides correspondants aux pôles alumineux (A1 et A2), qui se projettent dans le champ des tourmalines intra-granitiques, sont donc clairement des fluides en équilibre avec des granites ; il est facile de voir que le pôle A1, moins alumineux, est impliqué dans des tourmalines (par exemple, celles d'Errif) qui sont localisées dans les granodiorites à biotite ; tandis que le pôle A2 participe à la genèse de tourmalines (essentiellement, celles d'Ez-Zirari) qui se développent au sein des leucogranites à zinnwaldite et à topaze. Il est donc possible de conclure que le pôle alumineux correspond à un fluide A1 en équilibre avec la granodiorite (nettement plus riche en Fe et Mg), et un autre fluide A2 en équilibre avec les leucogranites (plus pauvres en Fe et Mg, mais plus alumineux). Il est dommage que le lithium n'ait pas pu être analysé dans nos tourmalines : on attendrait en effet logiquement un enrichissement en lithium dans les tourmalines d'Ez Zrari ;
- les fluides correspondant aux pôles magnésiens (M1 et M2) s'interprètent simplement comme des fluides encore en équilibre avec les encaissants sédimentaires ou méta-sédimentaires du massif du Ment ; ce pourraient être des fluides « métamorphiques ». Là encore, des sources plus ou moins locales sont envisageables pour expliquer la diversité des compositions de ce pôle.

Les fluides correspondant au pôle ferrique (F) sont plus énigmatiques, et nous reviendrons plus loin sur la question de leur origine (voir chapitre VI - 1).

Les implications de ce modèle pour la géométrie des circulations hydrothermales sont relativement fortes :

- la similarité des évolutions dans l'espace et dans le temps suggère l'existence d'un seul « grand » système hydrothermal ;
- il faut trois réservoirs indépendants, dont l'un au moins (fluides M) alimente le système par un circuit « court » (pas de rééquilibrage avec les granites), tandis que l'autre, au contraire (fluides A), suit un circuit suffisamment long pour autoriser le rééquilibrage avec les granites ;
- l'extrême variabilité temporelle des mélanges implique qu'ils se fassent pratiquement in situ, dans les drains que constituent précisément les objets hydrothermaux (greisens, tourmalinites) qui sont d'origine tectonique (voir Boushaha et Marignac, 1996). Il est donc nécessaire que les trois réservoirs impliqués dans la genèse des tourmalines aient un accès plus ou moins égal à ces drains.

L'origine de la zonation complexe, enfin, implique

une activité tectonique plus ou moins cyclique : (i) un épisode d'ouverture des drains permet l'accès des fluides hydrothermaux au site de cristallisation de la tourmaline et leur mélange (formation d'une zone de croissance) ; (ii) le colmatage des drains se traduit par un arrêt de la croissance ; (iii) un nouvel épisode d'ouverture permet la reprise de la croissance, précédée, si la structure de la perméabilité du système a trop changé et que la nature des fluides de mélange est par trop différente, par un épisode de corrosion/résorption.

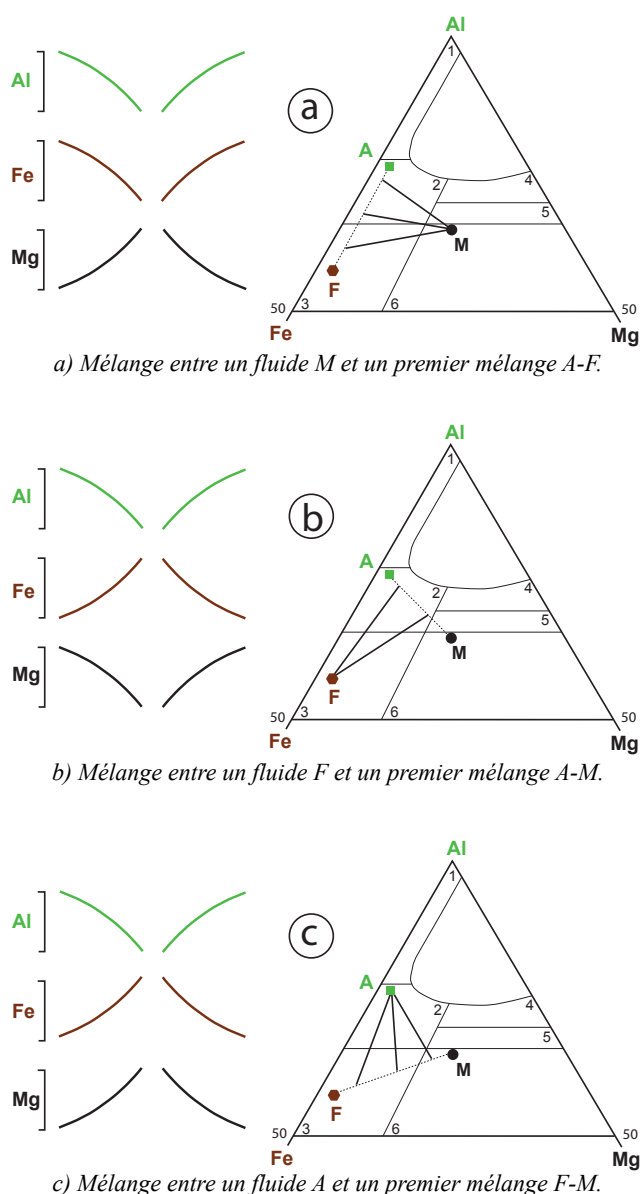
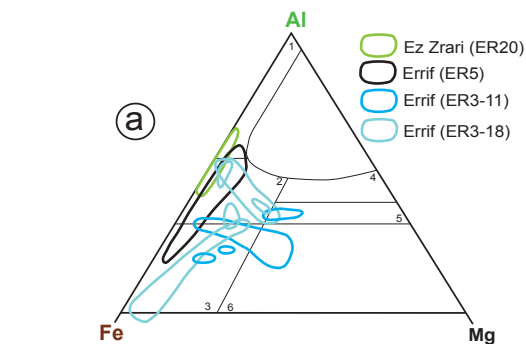
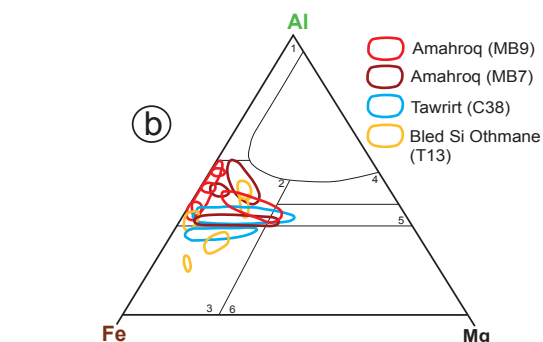


Figure 8 - Modélisation des mélanges de fluides à l'origine des variations de composition des tourmalines du Ment : passage des types de variations élémentaires sur les profils de concentration (à gauche) à des « trends » de mélange dans le diagramme de Henry et Guidotti (1985) (à droite).

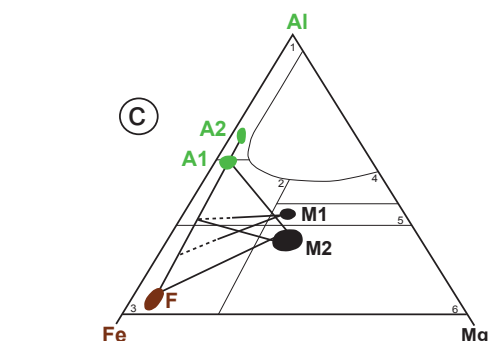
A) pôle alumineux des fluides ;
M) pôle magnésien des fluides ;
F) pôle ferrique des fluides.



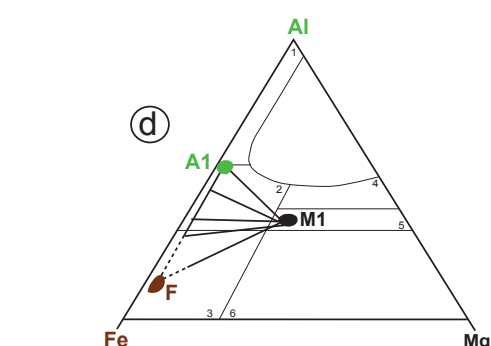
a) Récapitulation des « trends » des tourmalines d'Errif et d'Ez Zrari (les chiffres romains identifient les zones de croissance, voir les Figures 3 et 4).



b) Récapitulation des « trends » des tourmalines d'Amahroq, Bled Sidi Othmane et Tawirt (les chiffres romains identifient les zones de croissance, voir les Figures 5 et 6).



c) Modélisation des « trends » de la Figure 9a : il apparaît deux pôles magnésiens (M1, M2) et deux pôles alumineux distincts pour la tourmaline : Ez Zrari (A2) et Errif (A1).



d) Modélisation des « trends » de la Fig. 9-b : on retrouve des pôles identiques aux précédents.

Figure 9 - Application aux tourmalines du Ment du modèle de mélange dans le diagramme de Henry et Guidotti (1985).

V - INTERPRÉTATIONS : ÉVOLUTIONS P-T-T ET TYPOLOGIE DES FLUIDES HYDROTHERMAUX

1 - Ebullition vs Condensation : deux modes de circulation

Les diagrammes Th-salinité globale (Figure 10) mettent en évidence une grande diversité de situations, mais deux grands ensembles de fluides ressortent au premier examen :

- un premier ensemble, qui regroupe les LSh et la plupart des Lwa et des Vw, se caractérise par une extrême variation des salinités pour une gamme de Th limitée aux hautes températures (ca. 400- ca. 350 °C) ;
- un deuxième ensemble regroupe au contraire des IF de températures d'homogénéisation très variables (de ca. 400 à ca. 200 °C ou moins), mais dont la salinité reste très faible (quelques % éq. NaCl au plus) : ce sont des Vw, quelques Lwa, et la plupart des Lwb.

Les caractéristiques du premier ensemble évoquent immédiatement le phénomène d'ébullition. Les données microthermométriques ont donc été projetées sur les sections T-X du système H₂O-NaCl (Figure 11). Ce système est le seul disponible, mais il n'est en toute rigueur pas adapté aux fluides hydrothermaux du Ment, où la présence de cations R²⁺ est avérée, alors que l'on sait, sur l'exemple du calcium (Zhang et Frantz, 1989), que ces cations décalent les solvus vers les hautes pressions (mais le potassium a un effet inverse). Cependant, ces effets sont surtout sensibles aux hautes températures d'immiscibilité (> 400 °C), et il est donc possible de les négliger ici.

L'examen de la Figure 11 montre que les données sont compatibles avec l'ébullition d'un fluide dense (liquide), représenté par les Lwa dont les salinités sont comprises entre 8 et 13 % éq. NaCl, donnant d'un côté des vapeurs (représentées par les Vw) et de l'autre des saumures (représentées par les LSh et les LS2), à condition de prendre en compte des phénomènes de remélange entre ces deux pôles, expliquant notamment l'existence des vapeurs à forte salinité, qui se projettent du « mauvais côté » du solvus dans la Figure 11.

L'ébullition a lieu pour des températures comprises entre 420 °C et 360 °C, à des pressions comprises entre 30 et 10 MPa.

Cette variation de pression peut être vue comme la conséquence d'une décompression du système hydrothermal, passant de conditions lithostatiques à des conditions proches des conditions hydrostatiques, voire infra-hydrostatiques (effet du bouchon de vapeur). Adoptant en effet une valeur de 30 MPa pour la pression lithostatique et une valeur de 2,6 pour la densité, on trouve une valeur de 12 MPa pour la pression hydrostatique (soit 1,2 km de profondeur). Le système a donc sensiblement remonté vers la surface depuis le début des circulations hydrothermales (greisenisation à

ca. 50 MPa : Marignac et Zouhair, 1992).

Les caractéristiques du second ensemble suggèrent, quant à elles, l'intervention de processus de condensation à température décroissante depuis ca. 420 °C, faisant passer d'un fluide chaud de faible densité (représenté par les Vw les moins salées) à un fluide dense

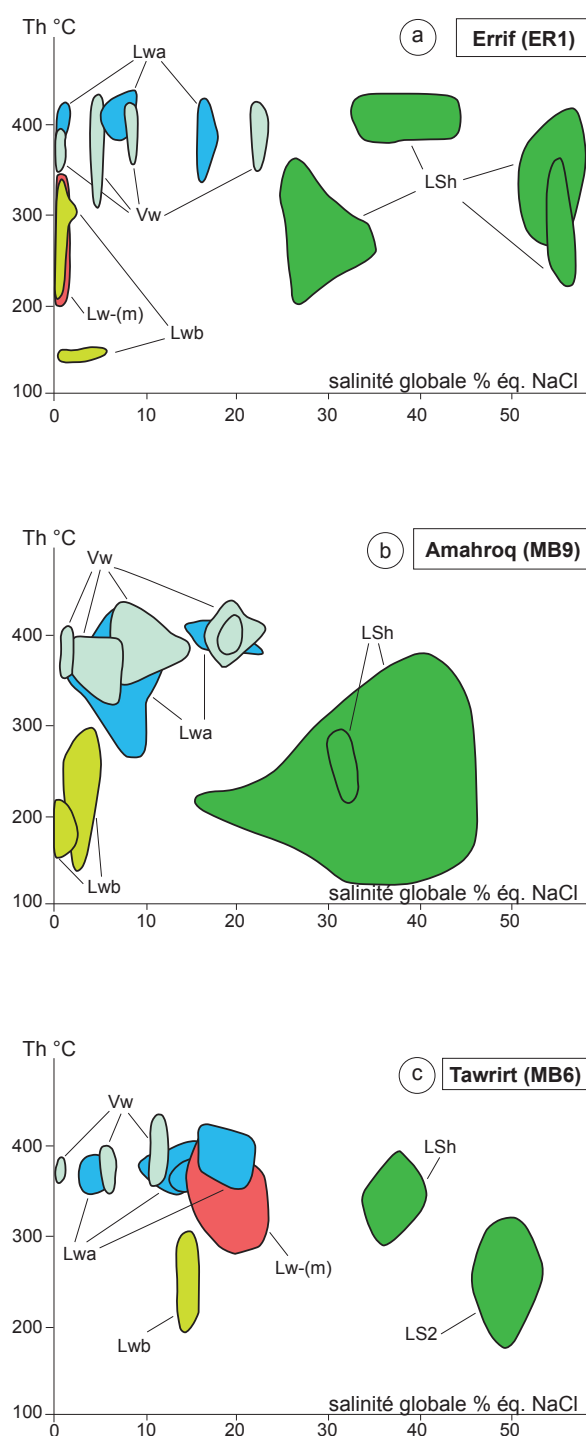


Figure 10 - Diagrammes Th-salinité globale pour les inclusions fluides du Ment dans trois échantillons (Errif, Amahroq et Tawirt).

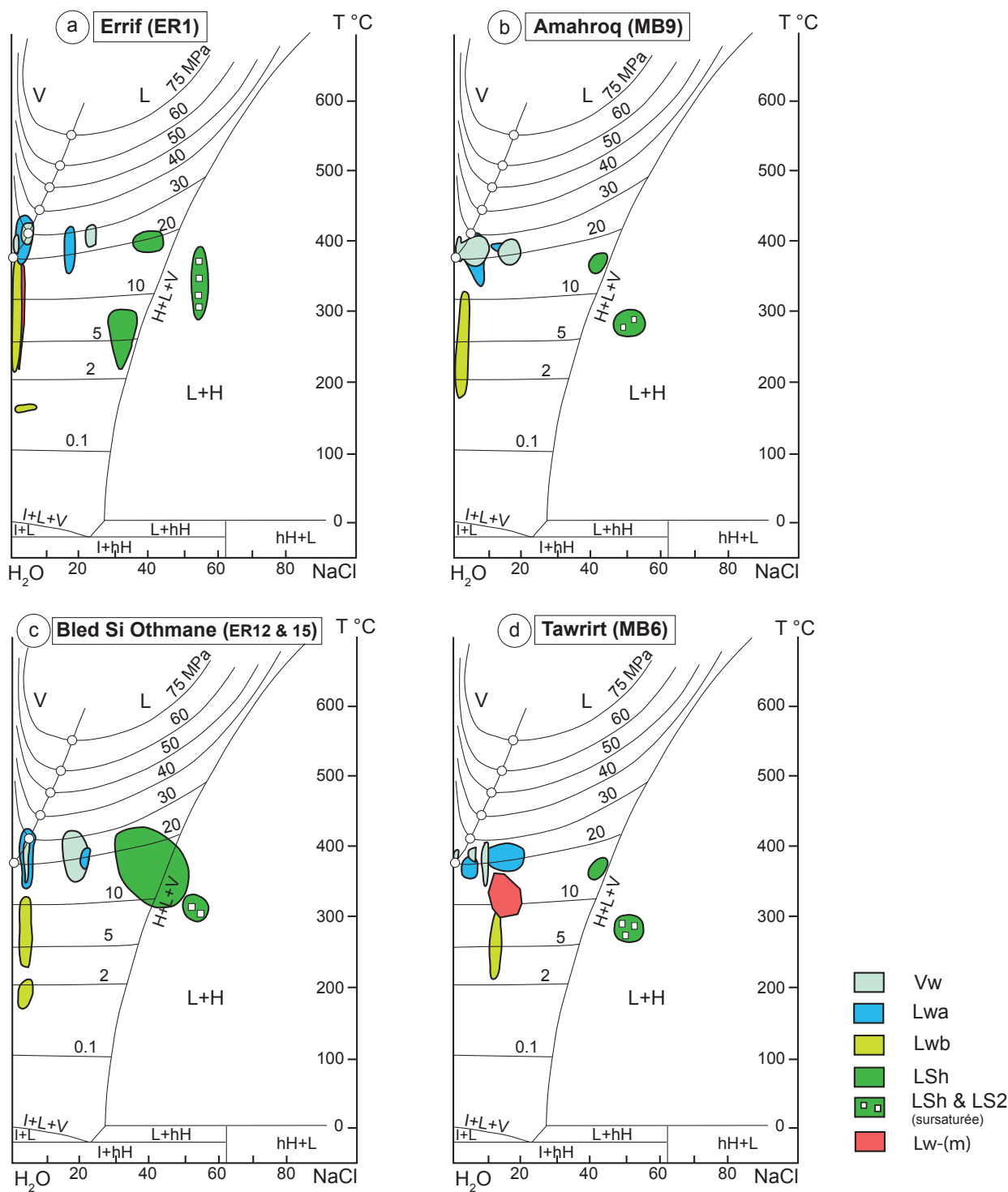


Figure 11 - Représentation des fluides hydrothermaux du Ment dans la projection T-X du système H₂O-NaCl, pour quatre échantillons (Errif, Amahroq, Bled Sidi Othmane, Tawirt).

plus froid (représenté essentiellement par les Lwb, mais aussi, par les La les moins salées). Un tel processus ne peut avoir lieu qu'à des pressions supérieures à celles du point critique pour ces fluides (Figure 11), soit 20 à 25 MPa selon la salinité, comprise entre 0 et 4 % éq. NaCl (Figure 10). Il est cependant naturel de considérer que ces circulations se font sous pression lithostatique, soit donc environ 30 MPa.

Il y a donc, dans le système hydrothermal du Ment, deux modes de circulation des fluides fondamentalement différents : un mode (conductif ?) en refroidissement isobare (ou quasi-isobare) et un mode en décompression (probablement isenthalpique, d'où la chute de température). On note toutefois que ces deux modes correspondent à des conditions initiales comparables : ca. 420 °C et 30 MPa (pression lithostatique).

2 - Existence de trois pôles fluides et leurs interactions

L'interprétation précédente met en évidence l'existence de deux groupes de fluides bien caractérisés :

- un liquide aqueux dense et moyennement salé (L1), donnant naissance par ébullition à une vapeur (V'1) et une saumure (L'1), qui se remélangent de façon assez systématique ;
- une vapeur aqueuse de faible densité (V2) donnant naissance par condensation à des liquides denses (L2).

Il existe en outre un troisième groupe, représenté par des fluides chargés en volatils (à méthane dominant), où coexistent des liquides denses (L3) et des vapeurs (V3), sur un mode similaire à celui des fluides du groupe 2 (voir la Figure 10 a).

Cependant, l'examen des diagrammes Th-salinité de la Figure 10 montre que des complications peuvent se produire comme on le voit dans les échantillons MB9 (Amahroq, Figure 10b) et MB6 (Tawrirt, Figure 10c), l'existence d'IF de type Lwb « anormalement » salées

s'explique par des mélanges anisothermes entre L2, froid, et soit L1, soit des saumures L'1 (représentées notamment par des Lwa « anormalement » salées). L'échantillon MB6 (Tawrirt, Figure 10c) suggère en outre qu'un processus similaire explique l'existence de Lw-[m] à forte salinité.

De plus, il n'est pas possible d'exclure que des mélanges isothermes se produisent entre les V2 et les V'1 (ou les L1), comme le suggère notamment le quasi-continuum des compositions des Vw dans l'échantillon MB9 (Amahroq, Figure 10c).

Ces observations ont pour implication que les fluides engagés dans les deux modes de circulation discutés au chapitre V - 1 peuvent coexister dans l'espace et dans le temps et participer à des mélanges.

Le processus de condensation à partir des fluides V2 peut également expliquer les fortes dissolutions de quartz qui précèdent le développement des tourmalinites tardives. Comme l'ont en effet montré El Jarray *et al.* (1994), dans le cas des épi-sénites du Limousin, si la vapeur est équilibrée avec le quartz, alors le fluide condensé sera rapidement sous-saturé en silice.

VI - SYNTHÈSE DES DONNÉES :

NATURE DES FLUIDES ET MODÈLE CONCEPTUEL DU SYSTÈME HYDROTHERMAL

1 - Fluides de la muscovitisation, fluides de la tourmalinisation

Il est remarquable que les échantillons où la tourmalinisation tardive ne s'est pas exprimée, comme, par exemple, ER29 (Ez Zrari, voir le Tableau 2), ne montrent que les IF associées aux fluides L1 (Lwa, Vw, LSh). On peut donc estimer que c'est la circulation de fluides de ce groupe qui est responsable de la muscovitisation.

Par contraste, la présence de la tourmalinisation est étroitement corrélée à celle de tous les types d'IF, qui s'observent dans les quartz les plus génétiquement liés à la tourmaline, et l'on a même vu dans l'échantillon MB6 une relation étroite entre des prismes de tourmaline et des fluides du groupe L3.

2 - Nature des fluides

Il ressort immédiatement des chapitres IV et V que les deux approches utilisées dans ce travail (minéralogie des tourmalines et étude des IF) convergent dans leurs résultats, puisqu'elles mettent toutes deux en évidence l'existence de trois pôles pour les fluides hydrothermaux et l'existence de mélanges entre ces pôles.

La comparaison terme à terme va nous permettre d'aller plus loin dans l'identification de ces trois pôles :

- les fluides L1, à en juger par les saumures qui en

dérivent par ébullition, sont caractérisés : (i) par de forts rapports K/Na (en bon accord avec la métasomatose potassique marquée par la muscovitisation qui est liée à ce fluide), ce qui suggère une origine magmatique ; (ii) par la présence d'ions multivalents : on a proposé une modélisation basée sur Ca^{2+} , mais Fe^{2+} (ou Fe^{3+}) sont également possibles, voire probables, si l'on sait que les phengites dont la croissance est associée à la circulation des fluides L1 sont clairement enrichies en fer par rapport à celles des greisens sur lesquelles elles se développent (Boushaba, 1996) et si l'on se rappelle que les fluides magmatiques ont en général des rapports Fe/Ca élevés. Dans ces conditions, les fluides L1 représenteraient le pôle F des fluides responsables de la tourmalinisation ;

- les fluides L3, où la présence de volatils suggère qu'ils proviennent de l'auréole métamorphique du massif granitique, sont donc de bons candidats au rôle des fluides M. Dans la mesure où la source du bore impliqué dans la tourmalinisation ne peut pas être cherchée dans les granites du Ment, où ne s'observe pas de tourmaline primaire, même dans les faciès leucogranitiques les plus évolués, les fluides M, équilibrés avec les roches métamorphiques encaissantes, sont de bons candidats au transport du bore dans le système. On sait en effet que la solubilité du bore dans des fluides en équilibre avec des roches peralumineuses (telles que les micaschistes) peut être élevée à des températures de 400 °C et plus (Weisbrod 1987 ; Kawakani 2001).

Steven et Moore (1995) ont d'ailleurs montré que, dans le Damara (Namibie centrale), le bore provient essentiellement des formations sédimentaires turbiditiques ;

- dès lors, les fluides V2-L2 représenteraient les fluides du groupe A, équilibrés avec les différents types de granite par une longue circulation à l'intérieur des masses granitiques.

3 - Modèle conceptuel du système hydrothermal

Un modèle conceptuel du système hydrothermal doit respecter plusieurs conditions :

- il faut une source des fluides magmatiques (L1). On peut envisager de la mettre en relation avec les nombreuses petites coupoles tardives de leucogranites fins à deux micas réparties à l'intérieur du massif principal (Figure 1). Ces leucogranites (qui appartiennent à la lignée principale : Boushaba, 1996) sont le seul faciès épargné par l'altération hydrothermale (à l'exception de la partie apicale de celle d'Amahroq, qui est peut-être composite). Les fluides magmatiques L1 peuvent donc trouver leur origine dans le (ou les) réservoir magmatique profond qui a alimenté ces intrusions tardives ;

- les fluides du groupe 3, d'origine relativement profonde et issus de l'extérieur des granites, doit pouvoir accéder « suffisamment vite » aux drains hydrothermaux afin d'éviter un ré-équilibre avec les roches granitiques. La géométrie particulière du massif du Ment semble pouvoir répondre à cette condition : le pendage de sa frontière occidentale paraît raide, tandis

que les drains potentiels (les actuelles zones de quartz-tourmalinites) sont remarquablement répartis en couronne sur cette même frontière (Figure 1).

- les fluides du groupe 2 qui sont peu salés et dépourvus de volatils, ont donc vraisemblablement une source superficielle (eau météorique ?). Leur identification aux fluides A des tourmalinites implique une circulation « longue » dans les faciès granitiques, et leur passage à l'état vapeur (V2) suppose un réchauffement à plus de 400 °C en cours de route : donc un passage à proximité du réservoir magmatique ;

- ce réchauffement pose le problème de l'entrée dans la couche limite chaude (« *thermal boundary layer* ») du réservoir magmatique profond. Cela n'est, en général, possible qu'à la faveur d'événements tectoniques (fractures) qui n'autorisent qu'épisodiquement cette entrée. En dehors de tels épisodes, les fluides L2 ne peuvent circuler que de façon plus superficielle : ce sont vraisemblablement les moments où peuvent se réaliser les mélanges anisothermes évoqués au chapitre V-2.

Le modèle conceptuel de la Figure 12 répond à l'ensemble de ces conditions.

Il faut cependant le voir comme un instantané d'une situation fondamentalement changeante, rythmée par l'activité tectonique (voir chapitre IV). Les alternances de fracturation-colmatage, la pénétration plus ou moins profonde des ouvertures à chaque moment, déterminent des changements cycliques de la perméabilité qui se traduisent par des configurations toujours nouvelles de la circulation des fluides et se traduisent, in fine, par la cristallisation des cristaux de tourmaline à zonation complexe.

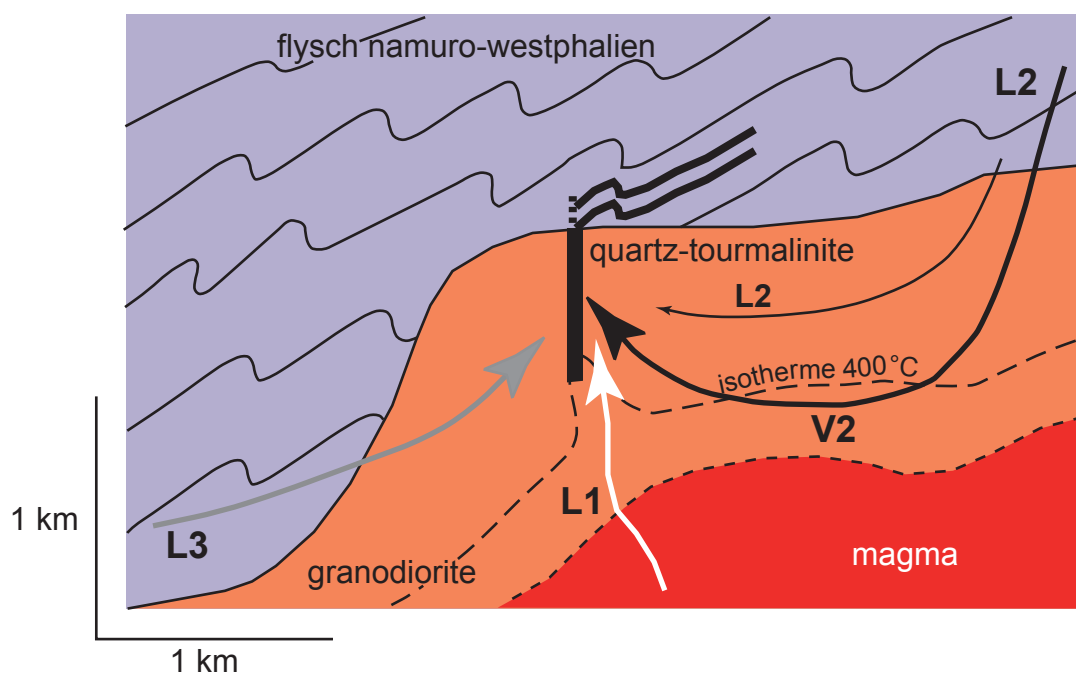


Figure 12 - Modèle conceptuel du système hydrothermal du Ment (champ géothermique à haute enthalpie) au moment de la tourmalinisation finale.

Remerciements

M-C Boiron (G2R-CNRS) a fait pour nous les analyses Raman des inclusions vapeur à méthane, qu'elle en soit remerciée.

BIBLIOGRAPHIE

- BÉZIAT D., BOURGES F., DEBAT P., FUCHS Y., LOMPO M., MARTIN F., NIKIEMA S., TOLLON F., 1999. The Guibare and Fete Cole gold-bearing tourmaline-quartz veins in the Birimian Greenstone Belts of Burkina Faso. *Can. Mineral.* 37, 575-591.
- BODNAR R.J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 683-684.
- BOUSHABA A., 1996. Le massif granitique du Ment (Massif central marocain hercynien) dans son contexte tectono-métamorphique régional, et les manifestations hydrothermales associées. Thèse d'Etat, INPL, Nancy, 306 p.
- BOUSHABA A., MARIGNAC C., 1996. Les altérations hydrothermales associées au granite permien du Ment (Massif central marocain) : relations chronologiques et contrôles structuraux. Ed. PUMAG, Marrakech, 113-137.
- CAVARRETA G., PUXEDDU M., 1990. Schorl-draivite tourmalines deposited by hydrothermal magmatic fluids during early evolution of the Larderello geothermal field, Italy. *Econ. Geol.* 85, 1236-1251.
- EL JARRAY A., BOIRON M.-C., CATHELINEAU M., 1994. Percolation microfissurale de vapeurs aqueuses dans le granite de Pény (Massif de Saint-Sylvestre, Massif Central): relations avec la dissolution du quartz. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 318, II, 1095-1102.
- FUCHS Y., LAGACHE M., LINARES J., 1998. Fe-tourmaline synthesis under different T and f_{O₂} conditions. *Am. Mineralogist*, 83, 525-534.
- GRIFFIN W. L., SLACK J.F., RAMSDEN A.R., WIN T.T., RYAN C.G., 1996. Trace Elements in Tourmalines from Massive Sulfide Deposits and Tourmalinites: Geochemical Control and Exploration Applications. *Am. Mineralogist*, 91, 657-675.
- HENRY D.J., GUIDOTTI C.V., 1985. Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: An example from the metapelites of NW Maine. *Am. Mineralogist*, 70, 1-15.
- KAWAKANI T., 2001. Boron depletion controlled by the breakdown of tourmaline in the migmatite zone of the Aoyana district, Ryako metamorphic belt, South western Japan. *Canad. Mineral.*, 39, 1529-1546.
- MARIGNAC C., ZOUHAIR M., 1992. Fluid evolution in an un-mineralized greisen-tourmaline system in the Ment granite (Central Morocco): a fluid inclusion study. *Eur. J. Mineral.*, 4, 949-964.
- POTY B., LEROY J., JACHIMOVICZ L., 1976. Un nouvel appareil pour la mesure des température sous le microscope : l'installation de microthermométrie Chaix meca. *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr.*, 99, 182-186.
- SLACKS J.F., 1996). Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. In *Boron : Mineralogy, Petrology, and Geochemistry* (E. S. Grew & A. M. Anovitz, eds.). *Rev. Mineral.*, 33, 559-643.
- STERNER S.M., HALL D.L., BODNAR R.J., 1988. Synthetic fluid inclusions. V. Solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapour-saturated conditions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 989-1005.
- VAN DEN BLEEKEN G., CORTEEL C., VAN DEN HAUTE P., 2007. Epigenetic to low-grade tourmaline in the Gdoutmont metaconglomerates (Belgium): A sensitive probe of its chemical environment of formation. *Lithos*, 95, 165-176.
- VANKO D.A., BODNAR R.J., STERNER S.M., 1988. Synthetic fluid inclusions. VIII. Vapor-saturated halite solubility in part of the system NaCl-CaCl₂-H₂O, with application to fluid inclusions from oceanic hydrothermals systems. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 2451-2456.
- VON GOERNE G., FRANTZ G., ROBERT J.L., 1999. Upper stability of tourmaline plus quartz in the systems MgO-Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃-H₂O and Na₂O-MgO-Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃-H₂O-HCl in the hydrothermal solutions and siliceous melts. *Can. Mineral.*, 37, 1025-1039.
- WEISBROD A., 1987. Boron content of hydrothermal solutions and tourmaline solubility. *Terra Cognita*, 7, 408-409.
- WILLIAMSON B.J., ADAMS J.T., TINDLE A.G., SPRATT J., STANLEY C.J., 1999. Geochemical constraints from tourmaline hydrothermal overgrowths on the evolution of mineralising fluids. Abstracts EUG X, p. 501.
- WILLNER A.P., 1992. Tourmalinites from the stratiform peraluminous metamorphic suite of the Central Namaqua Mobile Belt (South Africa). *Mineral. Deposita*, 27, 304-313.
- ZHANG Y-G., FRANTZ J.D., 1989. Experimental determination of the compositional limits of immiscibility in the system CaCl₂-H₂O-CO₂ at high temperatures and pressures using synthetic fluid inclusions. *Chem. Geol.*, 74, 289-308.

L'HYDROTHERMALISME

UN PHÉNOMÈNE CYCLIQUE DANS LES TEMPS GÉOLOGIQUES

CONSÉQUENCES POUR LA PROSPECTION MINIÈRE AU MAROC

THE HYDROTHERMAL ACTIVITY

*A CYCLIC PROCESS DURING THE GEOLOGICAL TIMES
CONSEQUENCES FOR EXPLORATION STRATEGIES IN MOROCCO*

Dominique GASQUET ¹, ALAIN CHEILLETZ ²

¹ Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie/CNRS, Campus Scientifique, F 73376 Le Bourget-du-Lac cedex.
dominique.gasquet@univ-savoie.fr

² CRPG-CNRS UPR A2300, ENSG-INPL Nancy Université, BP 20, F 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy.
cheille@crpg.cnrs-nancy.fr

RÉSUMÉ

La synthèse de trente ans de travaux et de prospection minière montre que les gisements métallifères du Maroc sont liés à six événements hydrothermaux principaux depuis le Néoprotérozoïque jusqu'à l'actuel, en relation avec des contextes géodynamiques bien identifiés. Les stratégies d'exploration minières au Maroc devront prendre en compte dans le futur ces contextes et périodes favorables. Les cibles suivantes semblent les plus pertinentes : (i) le magmatisme calco-alcalin fortement potassique à alcalin Ediacarien à Cambrien semble le plus prometteur car enraciné dans la croûte inférieure et/ou le manteau. Il entraîne avec lui le long de failles lithosphériques profondes des fluides juvéniles et des métaux, vers la croûte supérieure ; (ii) les formations ordoviciennes sont susceptibles de contenir comme à Tamlalt-Menhouhou des minéralisations aurifères de type IOCG ; (iii) les formations paléozoïques et les zones de cisaillement varisques, maintenant bien reconnues dans l'Anti-Atlas, peuvent renfermer ailleurs au Maroc des gisements de métaux de base et de métaux précieux.

MOTS-CLÉS : HYDROTHERMALISME, GISEMENTS MÉTALLIFÈRES, MAROC, ÉPOQUES MÉTALLOGÉNIQUES, PROSPECTION MINIÈRE.

ABSTRACT

The compilation of 30 years of industrial and scientific advances in the knowledge of Moroccan mineral deposits leads to a synthetic overview of their position in space and time. Six successive metallogenic hydrothermal events can be distinguished from the Neoproterozoic to present day, each of them associated with a particular geodynamic context. Exploration strategies in Morocco must take into account the fundamental characteristics of the existing mineral deposit as exposed here. Particularly relevant would be: (i) the high potential of the Precambrian-Cambrian transition and associated high K, calc-alkaline to alkaline magmatism rooted in the lower crust and/or the mantle, allowing large inputs of juvenile fluids and metals in the upper crust circulating along deep lithospheric faults; (ii) the existence of interesting IOCG-like gold mineralization in the Ordovician series which now opens new regional targets for exploration in these horizons; (iii) the importance of the Variscan tectonic events (e.g. shear zones), well recognized today in the Anti-Atlas which might lead to base and precious metals accumulations within the whole Palaeozoic series overlying the Pan-African basement inliers.

KEYWORDS: HYDROTHERMAL ACTIVITY, ORE DEPOSITS, MOROCCO, METALLOGENIC EPOCHS, REGIONAL EXPLORATION.

INTRODUCTION

Au cours des années 1980, de lourds programmes d'exploration minière dans la Meseta hercynienne du Maroc réalisés par les entreprises d'état et les compagnies privées marocaines ont abouti à d'importantes découvertes de gisements comme, en particulier, les VMS (*Volcanogenic Massive Sulfide*) de Guemassa (Ajar) et des Jebilet centrales (Draa Sfar et autres gisements associés). Depuis ces années, les intenses programmes d'exploration consacrés, notamment, à la recherche des métaux précieux (Au et Ag) ne sont pas parvenus à la découverte de gisements hydrothermaux de classe mondiale capables de remplacer les grandes mines marocaines connues depuis des siècles telles que celles du Djebel Aouam-Tighza (Pb-Zn-Ag), Imiter (Ag-Hg) ou Bou Azzer (Co-Ni-As-Au-Ag). En outre, les avancées spectaculaires réalisées cette dernière décennie dans les techniques de datation *in situ* par laser (Ar/Ar) ou par sonde ionique (U-Pb) ont permis

de préciser, soit directement par datation des minéralisations, soit indirectement par datation des encaissants, magmatiques notamment, les époques minéralisatrices les plus favorables. Suite à l'importante synthèse réalisée par Barodi *et al.* (2002), il apparaît donc primordial aujourd'hui d'actualiser et de rassembler les connaissances scientifiques sur les gisements métallifères du Maroc, pour l'essentiel hydrothermaux, en vue de présenter une distribution spatio-temporelle cohérente des principaux indices et gisements. Le but de cette synthèse est de montrer le caractère récurrent des événements hydrothermaux au cours des temps géologiques et de contribuer, par conséquent, à la définition de guides de prospection pour les programmes d'exploration en cours ou à venir au Maroc. Les minéralisations à U-Fe-Nb-Terres Rares associées à des carbonatites et récemment découvertes par l'ONHYM dans les provinces du sud ne sont pas prises en compte dans cette synthèse.

I - LE CADRE GÉOLOGIQUE DU MAROC

Le Maroc est situé à une triple jonction géodynamique entre le continent africain, l'océan atlantique et la chaîne de collision alpine. La conséquence de cette situation particulière est la présence de roches dont l'âge s'étale depuis l'Archéen jusqu'au Cénozoïque, et de contextes tectoniques variés depuis celui des racines orogéniques métamorphiques jusqu'à celui des bassins sédimentaires distensifs superficiels.

Les principaux domaines géologiques du Maroc (Figure 1) dont la révision a été réalisée pour l'ambitieux programme national de cartographie géologique (PNCG) et pour l'édition récente d'une synthèse géologique (Michard *et al.*, 2008) sont :

- la chaîne du Rif au Nord qui s'étend le long de la Méditerranée et prolonge au sud de la mer d'Alboran les cordillères bétiques alpines ;

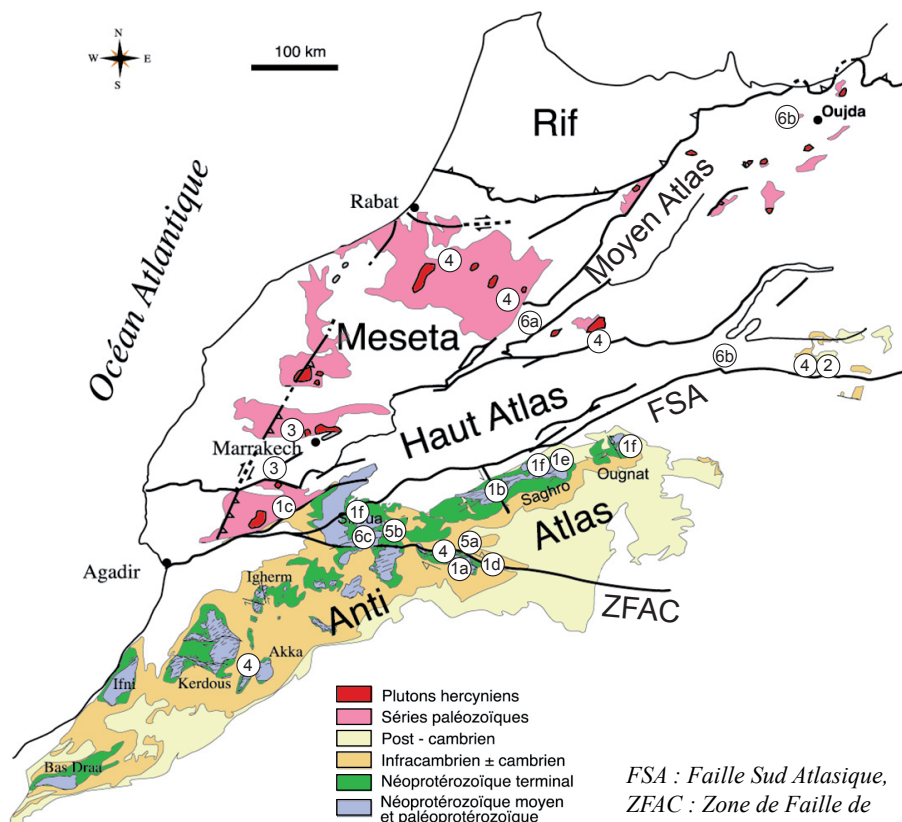


Figure 1 - Carte simplifiée des domaines géologiques et des principaux gisements métallifères du Maroc.

- (1a) Bou Azzer I (Cr-Pt) ;
 (1b) Tiouit (Au) ;
 (1c) Ouirgane (Cu, -Zn-Pb-Ag) ;
 (1d) Bleida (Cu-Au) ;
 (1e) Imiter (métaux de base) ;
 (1f) Imiter (Ag-Hg),
 Bou Madine (Cu-Pb-Zn),
 Zgounder (Ag) ;
 (2) Tamlalt-Menouhou (Cu-Au),
 (3) Meseta occidentale
 (Cu-Pb-Zn) ;
 (4) Iourirn (Au),
 El Hammam (F),
 Aouam - Tighza (W-Au-Pb),
 Bou-Azzer II (Co-Ni-As-Au),
 Tamlalt II (Au) ;
 (5a) Bou Azzer III
 (polymétallique) ;
 (5b) Imini (Mn) ;
 (6a) Tamazert (Terres rares) ;
 (6b) MVT Touissit-Bou Dahar
 (Pb-Zn) ;
 (6c) Zgounder (U).

FSA : Faille Sud Atlasique,
 ZFAC : Zone de Faille de
 l'Anti-Atlas Central.

- la Meseta et le Moyen Atlas, au sud du Rif, qui sont constitués de fragments de la chaîne hercynienne recouverts par des terrains mésozoïques et cénozoïques discordants et plissés ;
- le Haut Atlas qui constitue une chaîne intracontinentale active et une barrière morphologique importante où la tectonique tertiaire a porté à des altitudes de plus de 4000 m des blocs hercyniens et précambriens préservés ;
- l'Anti-Atlas au sud qui est composé de boutonnières protérozoïques affleurant de part et d'autre de la Zone de Faille majeure de l'Anti-Atlas Central (Figure 1) et recouvertes par des formations édiacariennes (Néoprotérozoïque terminal) à paléozoïques (Gasquet *et al.*, 2008)

; dans le domaine nord-oriental ces boutonnières sont constituées de terrains néoprotérozoïques polydéformés pendant l'orogénèse panafricaine ; dans le domaine sud-occidental affleure un socle paléoprotérozoïque et néoprotérozoïque, affecté par les orogénèses éburnéenne et panafricaine. Les deux domaines ont également subi les déformations hercyniennes bien reconnues aujourd'hui (Helg *et al.*, 2004 ; Burkhard *et al.*, 2006) et le contrecoup des événements tectoniques du cycle alpin (Frizon de Lamotte *et al.* 2008).

A l'exception du Rif, ces domaines contiennent des gisements métalliques hydrothermaux importants, exploités pour certains (Imiter par exemple) depuis l'Antiquité.

II - LES DONNÉES TEMPORELLES

Les nouvelles données géochronologiques (U-Pb, Ar/Ar, K-Ar, U-Th-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr, Re-Os) récemment publiées sur les gisements miniers du Maroc (Gasquet *et al.*, 2005) ont permis d'identifier six grandes époques métallogéniques hydrothermales caractérisées par différents paramètres :

1 - Néoprotérozoïque

Les corps intrusifs dioritiques à granodioritiques associés aux gisements de Tiouit (Au) dans l'Anti-Atlas (Figure 2) et Ouirgane (Cu-Zn-Pb-Ag) dans le Haut Atlas occidental, ont permis de les dater respectivement à 645 ± 12 Ma et 625 ± 5 Ma. En outre, l'âge du gisement de type Sedex (*Sedimentary exhalative*) de Bleida (Cu) est estimé à environ 600 Ma par référence à l'âge de l'encaissant volcano-sédimentaire (Mouttaqi, 1997). Plusieurs gisements de la ceinture à métaux précieux de l'Anti-Atlas et du Haut-Atlas sont datés à 564 ± 15 Ma (Zgounder, Ag), 550 ± 3 Ma (Imiter, Ag-Hg ; Figure 3) et 552 ± 5 Ma (Bou Madine, Cu-Pb-Zn) (Pelleter *et al.*, 2008b ; Levresse *et al.*, 2004). Le cycle panafricain représente ainsi une période de minéralisations hydrothermales très importante pour le Maroc.



Figure 2 - Minéralisation Cu-Au de Tiouit (Saghro-AntiAtlas).

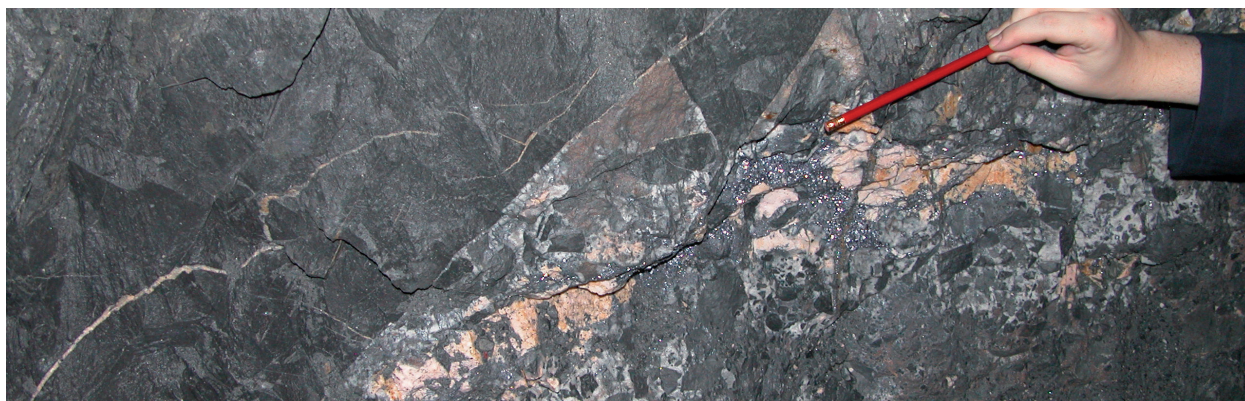


Figure 3 - Mineralisation Ag-Hg dans une brèche hydraulique (Imiter-Anti-Atlas).

2 - Ordovicien supérieur

Les minéralisations de type IOCG (*Iron Oxyde, Copper, Gold*) de Tamlalt (Cu-Au) dans le Haut Atlas oriental, ont été datées récemment à 449 ± 8 Ma par Pelleter *et al.*, (2009), (Figures 4 et 5) ; ces événements ordoviciens datés pour la première fois au Maroc, sont toutefois bien connus dans la chaîne varisque européenne (voir par exemple Valverde-Vaquero et Dunning, 2000 ; Deloule *et al.* 2002).

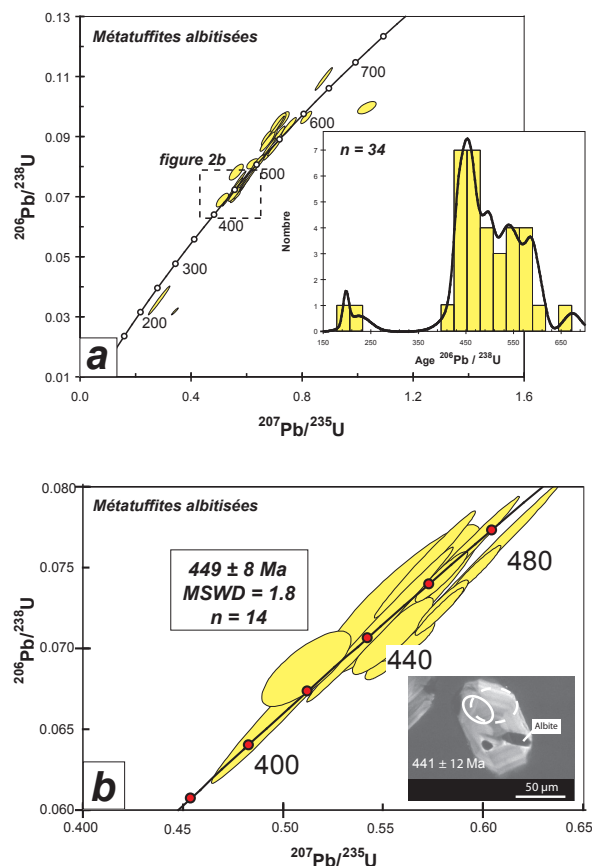
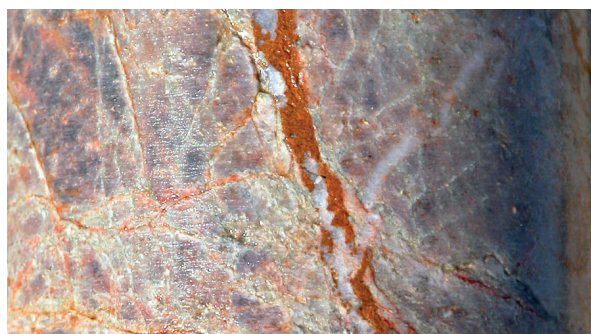


Figure 4 - Un exemple d'âge U-Pb ordovicien déterminé par sonde ionique (Cameca IMS 1270-Nancy) sur des zircons de métatuffites rhyolitiques albitisées provenant de la minéralisation aurifère de Tamlalt-Menhouhou (Haut Atlas oriental, Maroc) (d'après Pelleter *et al.*, 2007). a - diagramme concordia des 34 zircons analysés (encart : histogramme de distribution des âges). b - détail de la concordia pour les zircons ordoviciens concordants et photographie d'un zircon en cathodoluminescence daté par sonde ionique (l'ellipse représente la zone d'analyse).



3 - Carbonifère inférieur

Les gisements de type VMS (*Volcanogenic Massive Sulphide*) de la Meseta occidentale (Cu-Pb-Zn) sont datés à ca 330 Ma (Belkabir *et al.*, 2008).

4 - Carbonifère supérieur

L'important événement magmatique tardi-varisque est caractérisé par des minéralisations hydrothermales à W-Au-Sn datées à 291-286 Ma au Djebel Aouam-Tighza dans la Meseta. Le même âge est attribué aux minéralisations en fluorite d'El Hammam (Figures 6 et 7), sans datation géochronologique précise. De plus, les boutonnières protérozoïques de l'Anti-Atlas contiennent deux zones de cisaillement minéralisées en or et dont l'hydrothermalisme a été daté à ca. 300 Ma : Iourim (301 ± 7 Ma ; Figure 8) et Tamlalt Menouhou-II (293 ± 7 Ma) ; cette dernière étant caractérisée par une minéralisation d'or libre secondaire se superposant à la minéralisation à Cu-Au ordovicienne (Pelleter, 2008a). Enfin, l'âge le plus fiable pour la minéralisation (II) à Co-As de Bou Azzer est de 302 ± 9 Ma (Oberthür *et al.*, 2008 ; Figure 9).



Figure 6 - Minéralisation à fluorite (verte)-calcite-adulaire de El Hammam (Meseta). Sur la photo, la hauteur de la paroi verticale de la galerie de mine est de 30 cm environ.

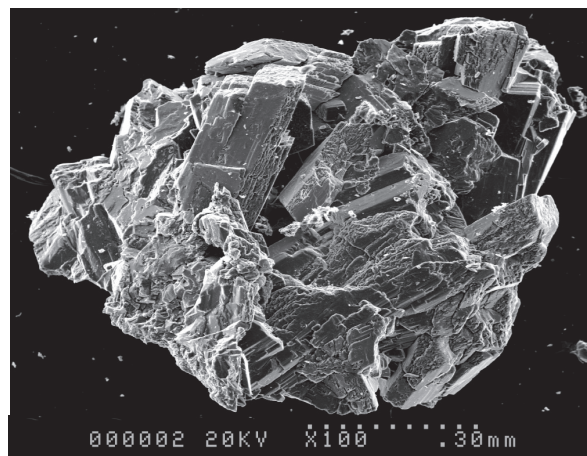


Figure 7 - Photographie au MEB d'adulaires des veines à fluorite de El Hammam (Meseta).

Figure 5 (ci-contre) - Veine à quartz-hématite-limonite-Au. Tamlalt (Haut Atlas oriental). L'échantillon, carotte de forage, mesure 5 cm de large.

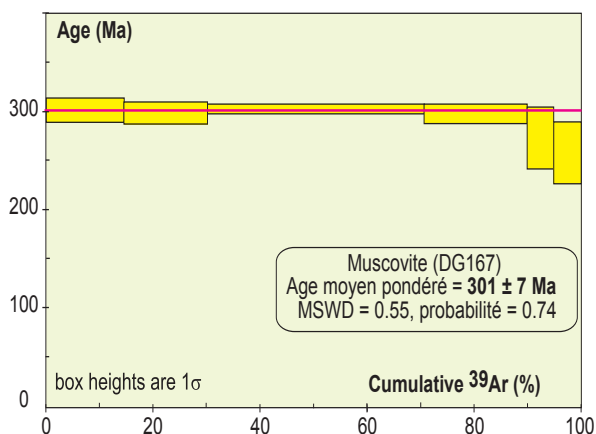


Figure 8 - Un exemple d'âge $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ tardi-varisque déterminé sur une muscovite d'un filon de quartz aurifère dans une zone de cisaillement du gisement de Iourirn (Tagragra d'Akka, Anti-Atlas occidental marocain), d'après Gasquet *et al.*, 2004.

5 - Trias-Jurassique

L'identification d'une période métallifère liée à l'extension associée à l'ouverture de l'Atlantique Nord est en cours. Un âge de 218 ± 8 Ma a été obtenu pour les phases tardives (III) de la minéralisation de Bou Azzer (Levresse *et al.*, 2004).

6 - Tertiaire

Le gisement de Terres rares de la carbonatite de Tamazert a probablement un âge Eocène (Mourtada *et al.*, 1997), les minéralisations Pb-Zn de type MVT de Bou Dahar (Haut Atlas ; Figures 10 et 11) et de Touissit (Maroc oriental) encaissées dans des formations jurassiques ont peut-être un âge fini Tertiaire (miopliocène ?, Bouabdellah, comm. pers.) ; enfin un volcanisme messinien est associé à la minéralisation en Uranium à Zgounder.



Figure 9 - Mine de Bou Azzer (Anti-Atlas). La minéralisation à Co-Ni-As est polyphasée.



Figure 10 - Exploitation des minéralisations de type MVT de Bou Dahar (Haut Atlas). Les minéralisations sont localisées dans un niveau karstifié du Lias.



Figure 11 - Mine de Bou Dahar, le tri du minerai se fait artisanalement.

III - DISCUSSION ET CONCLUSION

1 - Le caractère cyclique de l'hydrothermalisme

Sur la Figure 12 est présentée une synthèse de la distribution des principaux événements et des mines importantes au Maroc, classés dans une colonne lithostratigraphique s'étendant du Paléoprotérozoïque au Cénozoïque, c'est-à-dire une section de croûte continentale d'environ 2,7 km.

Les principaux événements magmatiques et les contextes géodynamiques liés à ces six épisodes métallogéniques hydrothermaux illustrent les relations entre les processus magmatiques, plutoniques ou volcaniques, et la formation des différents gisements. Pour synthétiser, on peut dire que chaque épisode hydrothermal est corrélé à un événement tectono-magmatique orogénique, les magmas et les fluides étant transférés de la profondeur vers la croûte supérieure à la faveur, la plupart du temps, de grands zones de failles.

2 - Les sources des métaux

Les données isotopiques (Pb/Pb, Sm/Nd, Os/Re et Rb/Sr) et des inclusions fluides sur les sources des éléments métalliques et des ligands (S, As...) dans les gisements types conduisent, dans de nombreux cas à des interprétations ambiguës (*e.g.* El Ghorfi *et al.*, 2006 ; Esaifi et Hibti, 2008 ; Essaraj *et al.*, 2005). Malgré l'identification d'une source mantellique pour la minéralisation Ag-Hg à Imiter (Levresse *et al.*, 2004), la plupart des autres gisements Au et Pb-Zn-Cu associés au magmatisme, montrent une signature mixte de croûtes océanique et/ou continentale. La source mantellique de la minéralisation Ag-Hg d'Imiter est toutefois en accord avec la géodynamique régionale en extension pendant la transition Précambrien-Cambrien et une croûte continentale amincie (Gasquet *et al.*, 2005).

Nous proposons un schéma global qui permet d'associer la distribution spatio-temporelle des gisements minéraux du Maroc à deux sources différentes d'éléments : soit une source juvénile de métaux provenant de sources profondes dans le cas des gisements épithermaux liés au volcanisme alcalin, soit de la re-

mobilisation de métaux à partir des croûtes océanique et continentale supérieure pour les VMS, SEDEX, ou l'or orogénique et les gisements polyphasés à Co-Ni. La source des métaux W-Au-Sn et F semble plus discutable et nécessitera des compléments d'études géochimiques fondamentales. Les gisements de type MVT dans le Maroc oriental sont clairement liés à l'évolution des bassins sédimentaires, encaissants de la minéralisation et à la circulation de fluides hydrothermaux (Bouabdellah *et al.*, 1996).

3 - Les guides de prospection minière

Les stratégies d'exploration minière future au Maroc doivent prendre en compte les caractéristiques fondamentales des gisements connus actuellement. Nous proposons les cibles d'exploration suivantes :

- les terrains volcaniques et sédimentaires d'âge Ediacarien-Cambrien et le magmatisme calco-alcalin fortement potassique à alcalin, enraciné dans la croûte inférieure et/ou le manteau, présentent un potentiel élevé car ils apportent avec eux dans la partie supérieure de la croûte et depuis la profondeur, des fluides juvéniles et des métaux ;
- les formations ordoviciennes peuvent contenir des minéralisations de type IOCG, comme les concentrations aurifères mises en évidence à Tamlalt ; elles constituent donc des cibles régionales intéressantes délaissées jusqu'alors, pour l'exploration ;
- les formations paléozoïques recouvrant les boutonnières protérozoïques de l'Anti-Atlas, affectées par les phases orogéniques varisques, dont le rôle est aujourd'hui bien reconnu dans l'Anti-Atlas (Michard *et al.*, 2008), pourraient contenir des minéralisations en métaux de base et métaux précieux importantes : le dogme de l'or précambrien a vécu ;
- les grandes structures régionales (failles, zones de cisaillement) jouant le rôle de drain pour les fluides, quelque soit leur âge, doivent être soigneusement repérées et étudiées dans tous les domaines structuraux du Maroc.

Remerciements

Cette synthèse est le résultat de différents contrats scientifiques et coopérations des deux auteurs avec le Ministère français de l'Industrie, l'EGIDE, le CNRS, le BRGM, l'Office National des Hydrocarbures et des Mines du Maroc, le groupe REMINEX-ONA. Ces projets ont permis la soutenance de plusieurs thèses dont celles de G. Levresse (2001) et d'E. Pelleter (2007). J.-M Bertrand (LGCA), C. Caillat (AREVA) et L. Astrade (EDYTEM) sont chaleureusement remerciés pour leur relecture attentive du manuscrit.

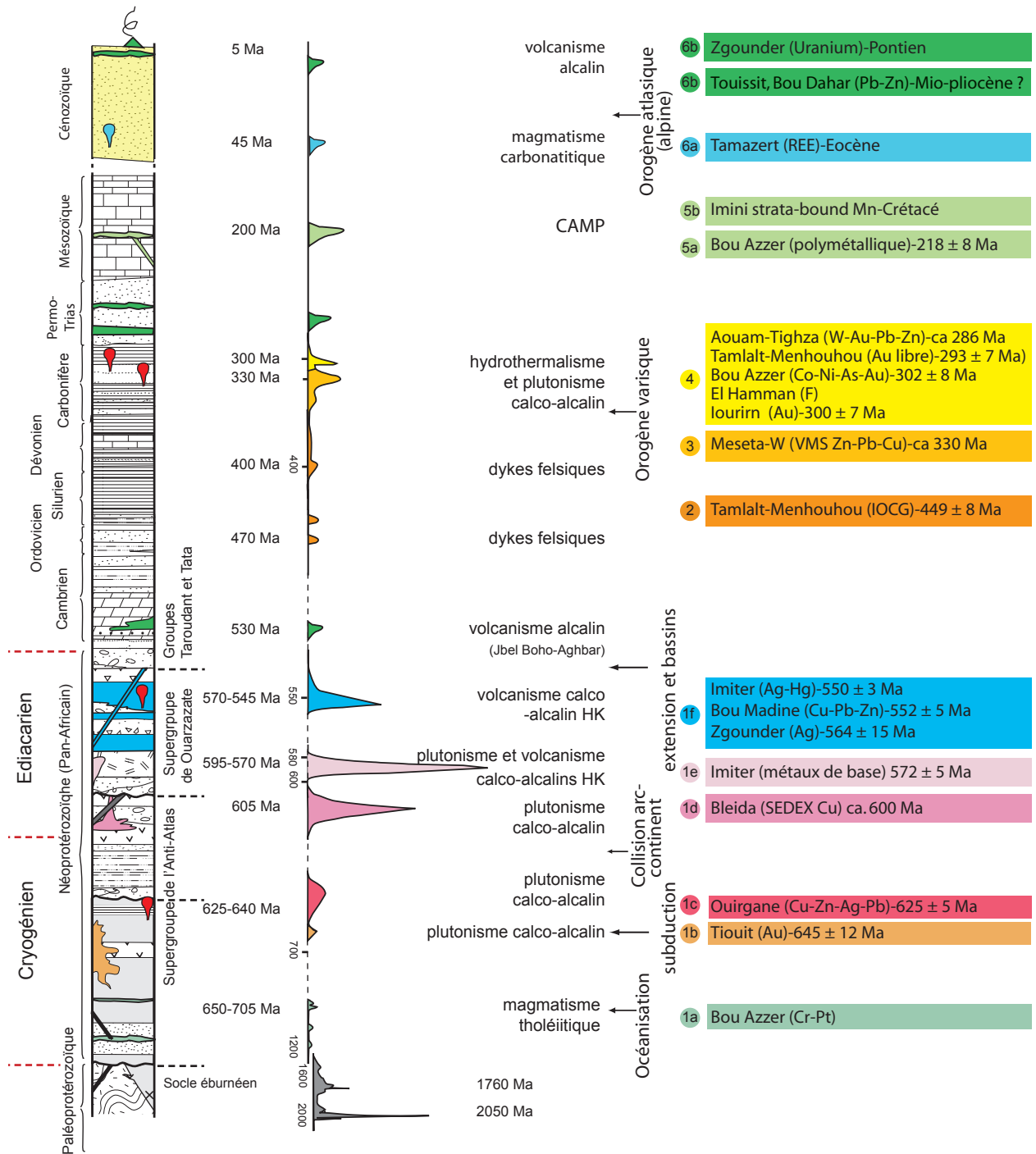


Figure 12 - Colonne lithostratigraphique des formations géologiques du Maroc avec les principaux évènements magmatiques et hydrothermaux ainsi que les gisements associés. Les nombres font référence aux gisements de la Figure 1.

BIBLIOGRAPHIE

- BARODI E.B., WATANABE Y., MOUTTAQI A., ANNICH M., 2002. Méthodes et techniques d'exploration minière et principaux gisements au Maroc. Projet JICA/BRPM. ISBN: 9954-8128-0-6, 329 p.
- BELKABIR A., GIBSON H.L., MARCOUX E., LENTZ D., RZIKI S., 2008. Geology and wall rock alteration at the Hercynian Draa Sfar Zn-Pb-Cu massive sulphide deposit, Morocco. *Ore Geology Reviews*, 33, 280-306.
- BOUABDELLAH M., BROWN A.C., SANGSTER D.F., 1996. Mechanism of formation of internal sediments at the Bediane lead-zinc deposit, Touissit mining district, northeastern Morocco. *Society of Economic Geology Special Publication*, 4, 112-143.
- BURKHARD M., CARITG S., HELG U.B., ROBERT-CHARRUE C., SOULAIMANI A., 2006. Tectonics of the Anti-Atlas of Morocco. *C. R. Geoscience*, 338, 11-24.

- DELOULE E., ALEXANDROV P., CHEILLETZ A., LAUMONIER B., BARBEY P., 2002. In situ U-Pb zircon ages for Early Ordovician magmatism in the Eastern Pyrenees (France): the Canigou orthogneisses. *Intern. J. Earth Sci.*, 91, 398-405.
- EL GHORFI M., OBERTHÜR T., MELCHER F., LÜDERS V., EL BOUKHARI A., MAACHA L., ZIADI R., BAOUTOUL H., 2006. Gold-palladium mineralization at Bleïda Far West, Bou Azzer-El Graara Inlier, Anti-Atlas, Morocco. *Mineralium Deposita*, 41, 549-564.
- ESSAIFI A., HIBTI M., 2008. The hydrothermal system of Central Jebilet (Variscan Belt, Morocco): A genetic association between bimodal plutonism and massive sulphide deposits? *Journal of African Earth Sciences*, 50, 188-203.
- ESSARRAJ S., BOIRON M-C., CATHELINEAU M., BANKS D.A., BENHARREF M., 2005. Penetration of surface-evaporated brines into the Proterozoic basement and deposition of Co and Ag at Bou Azzer (Morocco): Evidence from fluid inclusions. *Journal of African Earth Sciences*, 41, 25-39.
- FRIZON DE LAMOTTE D., LETURMY P., MISSENARD Y., SAMI KHOMSI S., RUIZ G., SADDIQI O., GUILLOCHEAU F., MICHARD A., 2008. Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): An overview. *Tectonophysics*, sous presse.
- GASQUET D., CHÈVREMONT P., BAUDIN T., CHALOT PRAT F., GUERROT C., COCHERIE A., ROGER A., HASSENFORDER B., CHEILLETZ A., 2004. Polycyclic magmatism in the Tagragra and Kerdous-Tafeltast inliers (Western Anti-Atlas, Morocco). *Journal of African Earth Sciences*, 39, 267-275.
- GASQUET D., LEVRESSE G., CHEILLETZ A., AZIZI-SAMIR MR., MOUTTAQI A., 2005. Contribution to a geodynamic reconstruction of the Anti-Atlas (Morocco) during Pan-African times with the emphasis on inversion tectonics and metallogenic activity at the Precambrian-Cambrian transition. *Precambrian Research*, 140, 157-182.
- GASQUET D., ENNIH N., LIÉGEOIS J-P., SOULAIMANI A., MICHARD A., 2008. The Pan-African Belt. In: MICHARD A., SADDIQI O., CHALOUAN A., FRIZON DE LAMOTTE D. (éd.), *Continental Evolution: The Geology of Morocco. Structure, Stratigraphy, and Tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction*, Springer Verl., Berlin, Heidelberg, 33-64.
- HELG U., BURKHARD M., CARITG S., ROBERT-CHARRUE CH., 2004. Folding and inversion tectonics in the Anti-Atlas of Morocco. *Tectonics*, 23, 1-17.
- LEVRESSE G., CHEILLETZ A., GASQUET D., REISBERG L., DELOULE E., MARTY B., KYSER K., 2004. Osmium, sulphur, and helium isotopic results from the giant Neoproterozoic epithermal Imiter silver deposit, Morocco: evidence for a mantle source. *Chemical Geology*, 207, 59-79.
- MICHARD A., HOEFFNER C., SOULAIMANI A., BAIDDER L., 2008. The Variscan belt. In MICHARD A., SADDIQI O., CHALOUAN A., FRIZON DE LAMOTTE D. (Eds.), *Continental Evolution: The Geology of Morocco. Structure, Stratigraphy, and Tectonics of the Africa-Atlantic-Mediterranean Triple Junction*, Springer Verl., Berlin, Heidelberg, 65-132.
- MOURTADA S., LE BAS M., PIN C., 1997. Pétrogenèse des magnésio-carbonatites du complexe de Tamazert (Haut Atlas marocain). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 325, 559-564.
- MOUTTAQI A., 1997. Hydrothermalisme et minéralisations associées en relation avec le rifting protérozoïque supérieur: exemple du gisement de cuivre de Bleida (Anti-Atlas), Maroc. Unpubl. Thesis, Univ. Marrakech, 310 p.
- OBERTHÜR T., MELCHER F., HENJES-KUNST F., STEIN H., ZIMMERMAN A., GERDES A., EL GHORFI M., 2008. Evidence of a Hercynian age of cobalt-arsenide-(gold) mineralisation, Bou Azzer, Anti-Atlas, Morocco from new U-Pb, Sm-Nd and Re-Os age determinations. Abstract Volume, 9th Biennial SGA Meeting, Dublin.
- PELLETER E., CHEILLETZ A., GASQUET D., MOUTTAQI A., ANNICH M., EL HAKOUR A., DELOULE E., FÉRAUD G., 2007. Hydrothermal zircons: a tool for ion microprobe U-Pb dating of gold mineralization (Tamlalt-Menhouhou gold deposit-Morocco). *Chemical Geology*, 245, 135-161.
- PELLETER E., CHEILLETZ A., GASQUET D., MOUTTAQI A., ANNICH M., EL HAKOUR A., FÉRAUD G., 2008a. The Variscan Tamlalt-Menhouhou gold deposit, Eastern High-Atlas, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 50, 204-214.
- PELLETER E., GASQUET D., CHEILLETZ A., CAMUS Q., MOUTTAQI A., ANNICH M., OUZZANI L., BELBADAOU M., DELOULE E., 2008b. Minéralogie, géochimie et géochronologie de zircons riches en uranium. Mise en évidence d'un épisode hydrothermal Ediacarien supérieur au cœur du gisement argentifère de Zgounder (Anti-Atlas, Maroc). 3^{ème} journées De Launay, Reun. Sci. Terre, Nancy, Résumé des communications, p. 586.
- PELLETER E., CHEILLETZ A., GASQUET D., MOUTTAQI A., ANNICH M., EL HAKOUR A., 2009. The Tamlalt-Menhouhou polyphase gold deposit (High-Atlas, Morocco): an IOCG-type mineralization hidden under a shear zone-related gold mineralization? in PORTER, T.M. (éd.) *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*, vol. 3, Advances in the Understanding of IOCG Deposits, PGC Publishing, Adelaide, sous presse.
- VALVERDE-VAQUERO P., DUNNING G.R., 2000. New U-Pb ages for Early Ordovician magmatism in central Spain. *J. Geol. Soc. London*, 157, 15-26.

Ressource et patrimoine



Au recto

Trois visages du thermalisme à Aix-les-Bains, trois générations de bâtiments thermaux.

En bas à gauche - La façade classique et un brin austère des thermes Pellegrini (1777) ne laisse rien voir des mystères de l'eau thermale. Bien qu'inscrit à l'inventaire des Monuments historiques depuis 1986, le bâtiment n'est pas très bien valorisé, souvent masqué par les véhicules en stationnement.

En haut à droite - L'arrière des thermes Pétriaux (1934). Le bâtiment est massif, sa silhouette s'impose au-dessus des toits d'Aix, mais les larges baies vitrées laissent la lumière pénétrer dans le grand hall d'entrée, également inscrit à l'inventaire des Monuments.

Au centre - Les thermes Chevalley (2000) avec leur piscine extérieure. L'agencement du bâtiment et de ses abords donne à l'eau une visibilité qu'elle n'avait jamais eue jusque là. L'eau thermale est associée à l'eau ludique, aux fontaines et aux bassins. La ressource, que l'on sait fragile, ne s'est jamais autant montrée...

LES GARES FERROVIAIRES, UN PATRIMOINE THERMAL À PART ENTIÈRE

LE CAS DE L'Auvergne ET DES PYRÉNÉES OCCIDENTALES

RAILWAY STATIONS AS A PART OF HYDROTHERMAL HERITAGE

PASCAL DESMICHEL

Département des Métiers de la culture, Université Blaise Pascal, 34 avenue Carnot, F 63000 Clermont-Ferrand.

Pascal.DESMICHEL@univ-bpclermont.fr

RÉSUMÉ

Le chemin de fer fait partie intégrante de l'histoire du thermalisme, il a souvent conditionné l'expansion – ou le déclin – des stations thermales, en fonction du degré de desserte. La gare, qui constitue la porte d'entrée principale du voyageur dans la station, est aussi un élément marquant de l'urbanisme de la ville d'eau. Un état des lieux de ce patrimoine permet de démontrer les caractéristiques architecturales et la dimension remarquable de ces sites ferroviaires et urbains.

À travers les cas des Pyrénées et du Massif Central (grandes régions thermales dotées d'un riche patrimoine ferroviaire), l'article vise à illustrer l'étroite relation entre chemin de fer et thermalisme, à démontrer les caractères architecturaux et paysagers propres aux stations ferroviaires des villes d'eau, à comprendre enfin le dynamisme de ce patrimoine si particulier et souvent oublié. Comment les collectivités ou l'exploitant SNCF ont-ils traité ces sites ? Ont-ils été banalisés, fermés, abandonnés, reconquis pour d'autres fonctions ? Quels liens demeurent aujourd'hui entre activité thermique et activité ferroviaire ?

MOTS-CLÉS : PATRIMOINE THERMAL, GARES FERROVIAIRES, STATIONS THERMALES, AUVERGNE, PYRÉNÉES.

ABSTRACT

Railway is strongly linked with the history of many spa resorts. Railway has often been a necessary condition for the growth of resorts, or for their decline if they aren't well served enough. The stations, as the main gateways for travellers into the resorts, are also significant masterpieces of hydrothermal architecture, just like bathes, luxury hotels or casino.

The inventory and the study of this heritage show the importance of these architectural features.

Pyrenees and French Massif Central are great hydrothermal areas and a rich heritage lies in these resorts. This paper aims to describe the current status of these stations: are they actually protected as places of historic interest? What happens when the railway company stops to operate the line and to serve the station? Are they now closed, deserted, or have they turned to other functions? Do they still take an eminent part in the spa resorts functioning?

KEYWORDS: HYDROTHERMAL HERITAGE, RAILWAY STATIONS, SPA RESORTS, AUVERGNE, PYRENEES.

I - INTRODUCTION

Le chemin de fer est un acteur du thermalisme : il a dans bien des cas conditionné l'expansion des villes d'eau en fonction d'une part de l'arrivée plus ou moins tardive de la desserte ferroviaire, d'autre part en fonction de la qualité de celle-ci. Les gares constituent une traduction, un témoignage de l'histoire du ther-

malisme à travers le traitement architectural et urbanistique dont elles ont fait l'objet. La gare de chemin de fer a toujours un double rôle, un double visage : c'est un équipement industriel qui, comme une usine, dispose d'installations techniques non accessibles au visiteur. Mais sa particularité est d'être en même

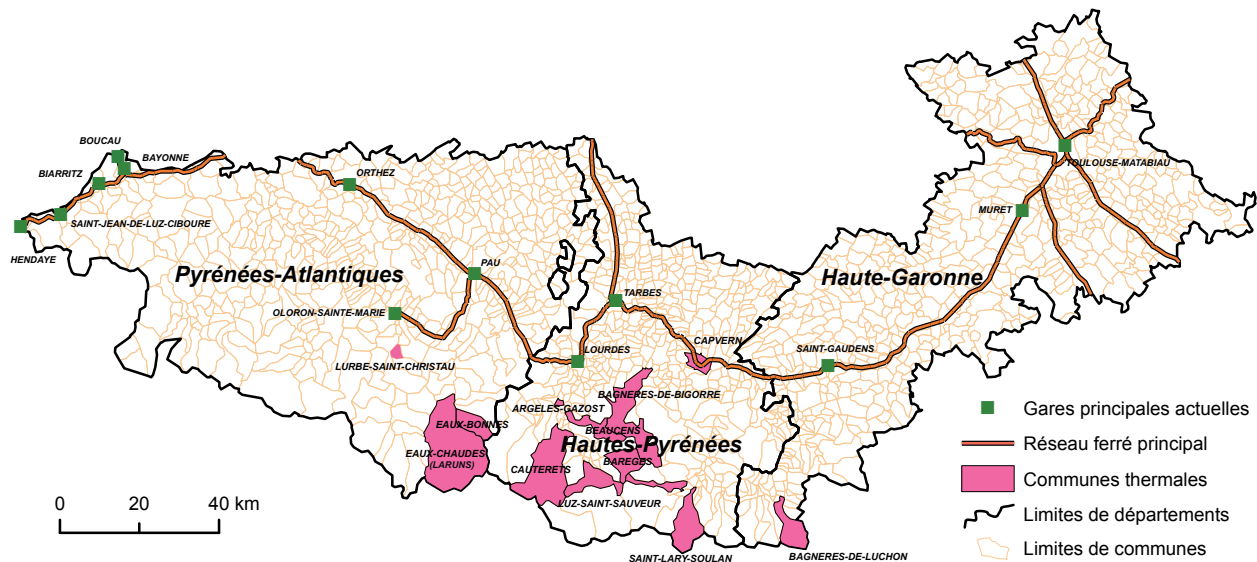


Figure 1 - Les 12 villes d'eau des Pyrénées occidentales.

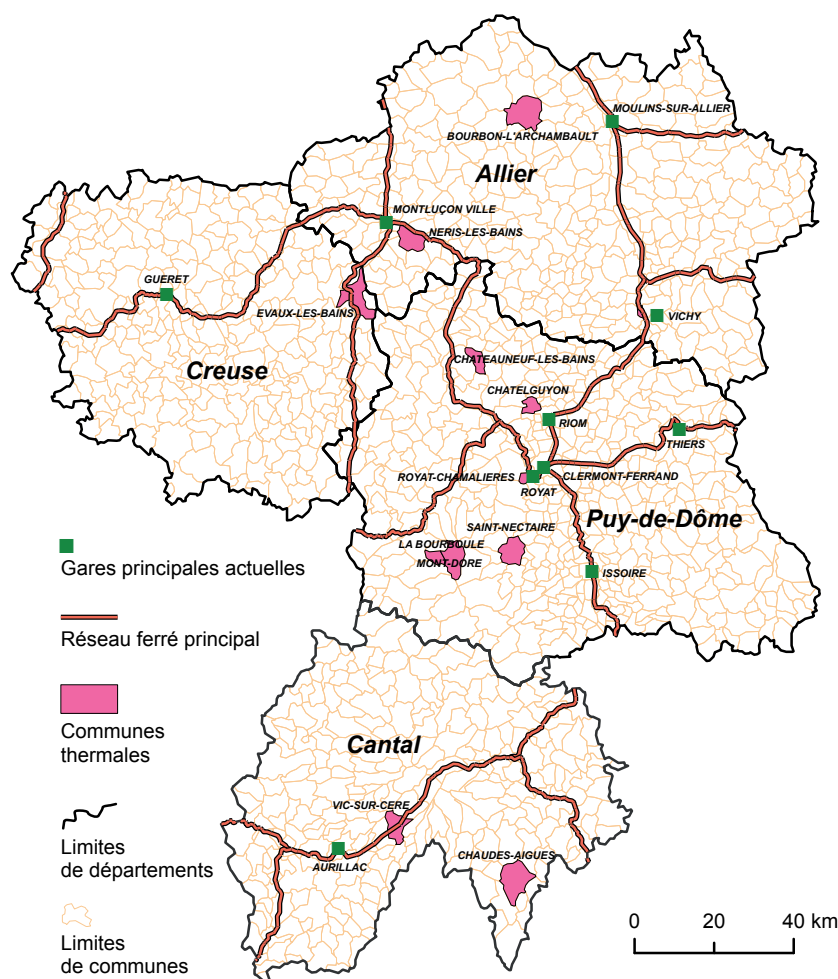


Figure 2 - Les 12 villes d'eau d'Auvergne et de Combrailles.

temps un espace public qui ouvre sur la ville ou le(s) bourg(s) desservi(s).

Quelles sont les particularités propres aux gares ferroviaires des stations thermales ? Le niveau de desserte ferroviaire est-il ou a-t-il notamment été meilleur qu'ailleurs ? Les gares ont-elles été mieux traitées en matière d'architecture ? Quelle est la place de cet héritage aujourd'hui et comment évolue-t-elle ? Quels sont les modes et les enjeux de préservation et de valorisation ?

Pour tenter de répondre à ces questions, un échantillon de 24 stations correspondant à deux grandes régions thermales françaises a été choisi pour servir de cadre d'analyse. Le premier ensemble géographique est celui des Pyrénées occidentales : du Luchonnais aux vallées béarnaises, en passant par la Bigorre, 12 villes d'eau, parmi les plus célèbres de France, se concentrent sur les premiers contreforts du massif pyrénéen (Figure 1). Le second ensemble est la grande Auvergne incluant les massifs des monts Dôme, des monts Dore, le volcan cantalien mais aussi les secteurs de « transition » que sont les Combrailles et le

Bourbonnais. Sur cet espace du nord-ouest du Massif central, 12 stations thermales sont également recensées (Figure 2).

L'étude s'appuie sur un certain nombre de textes de référence dans le domaine de l'histoire des chemins de fer et du thermalisme, sur des bases d'inventaire (base Mérimée du ministère de la Culture qui recense le patrimoine monumental français, sites internet) mais repose surtout sur une démarche empirique faite d'observations de terrain effectuées entre 2000 et 2008. D'importants relevés photographiques ont permis de constituer aujourd'hui une banque de données exploitable.

Le texte s'articule en trois temps. Il s'agit d'abord de restituer quelques éléments du contexte historique en insistant sur l'interrelation entre thermalisme et chemin de fer. Un état des lieux des édifices et sites ferroviaires sera ensuite l'occasion de montrer la richesse des traitements architecturaux des gares. Enfin, une analyse des processus d'évolution et de réaffectation sera l'occasion de revenir sur les enjeux auxquels sont aujourd'hui confrontés ces sites.

II - CONTEXTE HISTORIQUE

Le développement du réseau ferré se fait de manière progressive à partir de la capitale parisienne ; beaucoup de villes d'eaux restent longtemps desservies par des diligences au cours de ce XIX^e siècle caractérisé par la vogue du thermalisme.

1 - Chemin de fer et thermalisme

Si les acteurs du chemin de fer sont d'abord motivés par la question industrielle, ils se montrent assez vite intéressés par les questions touristiques au rang desquelles figurent en premier lieu les villes d'eaux. Même si le chemin de fer n'est pas toujours au départ le bienvenu comme en témoigne l'histoire ferroviaire de Vichy (Chaintreau *et al.*, 1993), il demeure la plupart du temps fortement désiré pour favoriser l'expansion économique et capter la clientèle des stations rivales.

Le trafic voyageurs à « grande » distance est encore assez rare : il s'agit surtout des habitants qui se rendent aux foires et marchés, à l'usine. Pour accroître la fréquentation des trains et favoriser le trafic, les compagnies proposent des services attractifs dans les lieux desservis. Ainsi, le Paris - Orléans investit dans l'hôtellerie à Vic-sur-Cère (Cantal). Les services routiers ne sont pas, comme on l'a trop souvent cru, conçus dans le but de concurrencer le train mais bel et bien dans un souci de complémentarité avec le mode de transport ferroviaire. Les stations thermales de Chaudes-Aigues (Cantal) ou Saint-nectaire (Puy-de-Dôme) disposeront de services routiers à partir des gares respectives de Saint-Flour et de Parent-Coudes-Champeix. Lorsque le

rail arrive, les services routiers gardent cependant toute leur importance, d'une part en permettant l'accès aux différents hôtels, pensions ou meublés, d'autre part en assurant les excursions des curistes et des touristes en séjour. Pour favoriser à la fois le trafic ferroviaire et la fréquentation des stations thermales, on commence à faire de la « réclame », à promouvoir les destinations à travers les affiches. Dans les deux régions, quelle que soit la compagnie, la manière de promouvoir le thermalisme se ressemble. On y vante l'accessibilité en notant les temps de parcours, en promettant un séjour animé (casino, théâtre...) sur fond de décor montagneux.

2 - La conquête ferroviaire des stations thermales

En Auvergne, les compagnies PO et PLM se livrent à une concurrence des durées et distances de parcours pour gagner Vichy, le Mont-Dore. Vichy est desservi assez tôt, en 1855. Des trains directs sont assurés dès 1862 par la ligne du Bourbonnais (pour un temps de parcours de 8 heures depuis Paris). Comme pour Saint-Nectaire, on se rend d'abord à La Bourboule et au Mont-Dore grâce à un service de diligence. Le train arrive dans les stations du Sancy en 1899, sur les hauteurs de Clermont-Ferrand (Royat - Chamalières) en 1881.

Dans les Pyrénées occidentales, l'axe direct Paris-Tarbes via Limoges, un moment envisagé comme une future grande artère internationale vers Madrid, est finalement construit à l'économie dans le Sud-Ouest, lais-

sant les stations thermales de Bigorre et de Béarn très isolées. A partir de la transversale Toulouse - Bayonne, se greffent, assez tardivement, des lignes demeurant pour la plupart de modestes antennes desservant les basses vallées ; c'est le cas de Tarbes - Bagnères-de-Bigorre, Lannemezan - Arreau, Montréjeau - Luchon, Lourdes - Pierrefitte-Nestalas, Pau - Laruns. La station thermale de Saint-Christau profite tardivement du transpyrénéen occidental Oloron - Canfranc ouvert en 1928.

Les villes d'eaux sont donc dès l'origine inégalement desservies et accessibles. Sept des 24 communes analysées ne verront jamais l'arrivée du chemin de fer. Le rail passe à moins de 10 kilomètres de Beaucens et Chaudes-Aigues mais reste à jamais éloigné de Saint-Nectaire (21 km). Dans les Pyrénées occidentales, le rail s'arrête en zone de piémont ou en fond de vallée (Laruns, Arreau, Luz), n'atteignant pas les premières hauteurs sur lesquelles s'établissent les stations (Les Eaux-bonnes, les Eaux-chaudes, Saint-Lary). Trois villes d'eau ne seront desservies que par des chemins de fer d'intérêt local (voies étroites, tramway) : le Pierrefitte - Cauterets - Luz (« PCL ») dans le système de vallée des gaves (Bigorre), la société des Chemins de fer économiques à Bourbon l'Archambault (Allier).

De courtes antennes à voie normale permettent de desservir 7 cités thermales : trois dans le Massif central (Chatelguyon, La Bourboule et Le Mont-Dore), et les autres dans les Pyrénées, sur des artères envisagées parfois comme de futures liaisons transpyrénéennes, jamais réalisées.

Huit stations thermales seulement sont dotées à un moment ou un autre de gares de passage (voire carrefour) sur des lignes du réseau d'intérêt général ; c'est très peu, et le chiffre diminue encore si l'on ne considère que les villes d'eau desservies par une ligne relevant de la trame principale du réseau ferré

français : Vichy (Paris - Clermont), Royat (Clermont - Bordeaux), Saint-Christau (Pau - Saragosse), Evaux-les-bains (Paris - Montluçon - Ussel), Capvern les bains (Toulouse - Bayonne). Quant à Nérès-les-bains, Vic-sur-Cère, Châteauneuf-les-Bains, il ne s'agit que de lignes plus secondaires à vocation régionale, voire locale.

Cet état des lieux historique révèle finalement une desserte ferroviaire très médiocre des villes d'eau. Il est impossible au vu de ces chiffres d'affirmer que le thermalisme a réellement influé sur la géographie des chemins de fer. Autrement dit, le thermalisme ne semble pas avoir été considéré comme un enjeu majeur pour les compagnies. Bien que liées, les deux activités économiques n'ont pas pu, ou su, créer une dynamique vertueuse et durable capable de profiter aux deux secteurs économiques. Pour expliquer cette décevante réalité, on peut émettre l'hypothèse que le chemin de fer est arrivé souvent trop tard dans ces modestes cités thermales du centre et du Sud-Ouest de la France. La vogue du thermalisme s'inscrit bien dans le XIX^e siècle, alors que le chemin de fer n'arrive pour la plupart du temps dans ces territoires que durant – au mieux – le dernier quart de siècle. Au début du XIX^e siècle, et plus encore durant l'entre-deux-guerres, lorsque le maillage du réseau ferré se densifie pour desservir des localités thermales oubliées, il est déjà trop tard car les clientèles aristocratiques et bourgeoises utilisent leur automobile pour voyager. L'activité ferroviaire se caractérise par une situation de crise pour les compagnies exploitantes, par l'abandon des dernières lignes projetées du plan Freycinet, et par une politique de contraction du réseau. Autrement dit, le « rendez-vous » entre chemin de fer et thermalisme n'a pas vraiment eu lieu, même si un héritage considérable et très intéressant témoigne d'une rencontre somme toute éphémère.

II - ÉTAT DES LIEUX D'UN PATRIMOINE SOUVENT FRAGILE

Les processus de contraction du réseau ferré apparaissent avec la naissance de la SNCF, le 1^{er} janvier 1938. Le mouvement ne va jamais cesser, à un rythme plus ou moins soutenu selon les plans de restructuration successifs. Les stations thermales, souvent enclavées dans ces zones de moyenne montagne, ayant déjà peine à bénéficier du transport ferroviaire, seront aussi les premières touchées par les vagues très précoces de fermetures de lignes (Tableau 1).

1 - Des gares aux destins variés

L'année 1939 correspond encore à ce jour à la plus grande vague de fermetures de lignes jamais opérée. La jeune entreprise SNCF a pour mission de reporter sur route le trafic jugé trop faible dans le cadre d'une « poli-

tique de coordination ». À peine ouvertes, des lignes à fort caractère rural, construites avec économie et parfois avec mauvaise volonté par les compagnies concessionnaires, sont presque immédiatement fermées. Parmi les records de France des « gares éphémères » figure la gare de Nérès-les-bains ouverte en 1932, devenue terminus sept années plus tard, puis fermée à tout trafic en 1957, laissant alors un des plus beaux et plus ambitieux bâtiments ferroviaires de France à l'abandon. Dans les Hautes-Pyrénées, le réseau Pierrefitte - Cauterets - Luz, fermé en 1939 pour la branche de Luz et en 1949 pour celle de Cauterets, connaît également une courte existence en laissant beaucoup de regrets au vu des potentialités touristiques de cette région. En Auvergne, le réseau d'intérêt local de la compagnie des chemins de fer économiques de l'Allier n'échappe pas à l'important mouvement de déclin des réseaux

		Département	Date desserte (compagnie)	Etat du trafic	Etat actuel
AUVERGNE	Bourbon l'Archambault	03	1er décembre 1886 Sté générale des CF économiques	Fermé en 1950	Site privé
	Vichy	03	PLM	Ouvert	En cours de rénovation
	Néris-les-bains	03	1931 (PO)	Terminus en 1939, Fermée en 1957	Transformation en salle culturelle
	Evaux-les-Bains	23	1885 (PO)	Fermé « provisoire- ment » en 2008	Désaffecté
	Royat - Chamalières	63	1881 (PO)	Ouvert	En service
	Châteauneuf-les-bains	63	(PO)	Fermé « provisoire- ment » en 2007	Désaffecté
	Châtel-Guyon	63	PLM	Fermé en 1972	Espace de services municipal
	La Bourboule	63	1899 (PO)	Ouvert	En service
	Le Mont-Dore	63	1899 (PO)	Ouvert	En service
	Saint-Nectaire	63			
	Chaudes-Aigues	15			
	Vic-sur-Cère	15	1868 (PO)	Ouvert	En service
PYRENEES OCCIDENTALES	Cauterets – La Raillère	65	1897 (PCL)	Fermé en 1949	Gare routière
	Saint-Sauveur-les-bains	65	1901 (PCL)	Fermé en 1939	Privé
	Barèges	65			
	Argelès-Gazost	65	1871 (Midi)	Fermé en 1976	Désaffecté
	Capvern-les-bains	65	1867 (Midi)	Ouvert	RFF
	Bagnères-de-Bigorre	65	1862 (Midi)	Fermé	RFF (guichets, pour service routier)
	Saint-Lary	65			
	Beaucens	65			
	Les Eaux-Bonnes	64			
	Les Eaux chaudes	64			
	Saint-Christau	64	1928 (Midi)	Réouverture	BV privé
	Luchon	31	1873 (Midi)	Ouvert	En service

Tableau 1 - Etat des lieux des stations thermales d'Auvergne et des Pyrénées occidentales en 2009.

En beige, les stations thermales qui n'ont jamais été raccordées au réseau ferré national.

secondaires de l'après-guerre. La station thermale de Bourbon-l'Archambault n'a alors plus de train en 1950

Dans les années 1970, d'importantes stations thermales perdent leur trafic ferroviaire : Bagnères-de-Bigorre, Argelès-Gazost sont situées sur des antennes pyrénéennes que la SNCF ne veut plus exploiter au trafic voyageurs en dépit d'une fréquentation saisonnière non négligeable liée à ces deux villes d'eau. La plus modeste station de Saint-Christau, à l'entrée de la vallée d'Aspe, perd également sa desserte ferroviaire en 1970, suite à l'interruption du trafic Oloron - Canfranc (causée par un accident ferroviaire). La très courte antenne Riom - Chatelguyon, ouverte jusqu'alors pour la saison thermale, est abandonnée, la gare de Riom étant alors rebaptisée « Riom - Chatelguyon »

Une vingtaine d'années passe sans modification majeure des dessertes ferroviaires. Alors que les décennies 1980 et 1990 n'ont pourtant pas épargné les lignes françaises, le Massif central et les Pyrénées sont rela-

tivement préservés. Il faut aussi dire que les Pyrénées ont déjà presque tout perdu. Les menaces de fermeture de plusieurs artères de la région des Combrailles, en Auvergne, sont pourtant évoquées depuis longtemps mais n'interviennent finalement qu'à la fin des années 2000. Le mouvement de « fermetures provisoires » se précipite dans ces zones rurales déjà fragilisées par le déclin des services publics : les gares de Saint-Gervais - Châteauneuf, d'Evaux-les-bains ferment successivement en 2007 et 2008. Sur l'antenne du Sancy, La Bourboule et Le Mont-Dore sont toujours menacées.

C'est finalement tout au plus 5 stations thermales – sur les 17 stations de l'échantillon pourvues de gares – qui semblent bénéficier d'un avenir en matière de desserte ferroviaire. Tout d'abord Vichy, grande ville d'eau, est devenue un pôle urbain de plus de 60 000 habitants situé sur l'axe Paris - Clermont-Ferrand. Quelques autres gares semblent sauvées par une régionalisation des transports qui a tendance à dynamiser le

trafic : Royat, Vic-sur-Cère, Luchon, Capvern-les-bains bénéficient des investissements réalisés par les conseils régionaux d'Auvergne et Midi-Pyrénées.

2 - La dimension patrimoniale des bâtiments voyageurs : des traitements architecturaux très inégaux

Force est de constater qu'il n'existe pas de généralités, de points communs en matière de traitement architectural et paysager des gares thermales, mais qu'au contraire la variété l'emporte selon la date de construction, la compagnie ou la taille de la station desservie.

Cinq bâtiments voyageurs ont fait l'objet d'un traitement minimaliste. Sur les chemins de fer d'intérêt local d'abord, les gares de Bourbon-l'Archambault et Saint-Sauveur constituent des édifices types aux dimensions très modestes et particulièrement banals ; pas un détail ne témoigne ici du statut particulier de la station. Il en va de même pour certaines gares de chemins de fer d'intérêt général ; c'est le cas d'Argelès-Gazost et

Capvern-les-bains, sur l'ancien réseau du Midi, et de Saint-Gervais - Châteauneuf (sur le domaine du P.O.) où rien ne laisse présager au voyageur qui arrive une trace quelconque de ville pour curistes. Le bâtiment est sobre et austère, parfaitement fonctionnel, dépourvu d'ornementations.

Quatre gares peuvent être qualifiées de « typiques » ou « pittoresques » sans que le statut thermal ne constitue cependant un élément de différenciation par rapport aux autres gares voisines. C'est plutôt le soin apporté à l'architecture d'une ligne toute entière qui explique la dimension assez remarquable de l'édifice. Ainsi, sur la ligne Murat - Aurillac, la gare de Vic-sur-Cère est un bel exemple d'inspiration régionaliste avant l'heure, avec un bâtiment voyageurs à la physionomie montagnarde, doté de toitures en ardoise à forte pente, de pignons à redans, de pierres apparentes composées de gros moellons de granite, de ferronneries sculptées pour assembler les volets. A proximité immédiate, l'ancien hôtel du P.O. rappelle les investissements de la compagnie dans l'économie touristique. Sur la ligne du transpyrénéen occidental (1928), qui figure parmi



Photos 1 et 2 - Evaux-les-bains, juillet 2005. Située en Limousin sur l'artère Montluçon - Ussel, la gare ne voit plus passer de train depuis le 28 février 2008. Outre un édifice à 4 travées typique du P.O., c'est le patrimoine végétal qui est également très intéressant ici. Côté cour, l'avenue de la gare a conservé son alignement de platanes. Côté voies, d'immenses marronniers bordent le quai n°2 et il reste les vestiges d'un parc aux arbres remarquables près du quai n°1. Toutes les photos de l'article sont de l'auteur.

les constructions les plus caractéristiques de l'ère du régionalisme, la gare de Saint-Christau possède une silhouette imposante avec sa toiture en ardoise à demi-croupe, ses pierres calcaires bossées et ses grandes ouvertures. Dans le Massif central, la ligne Montluçon - Eygurande traduit un certain souci esthétique avec un remarquable travail de la pierre (bordures de quai, linteaux...), qui rend la gare d'Evaux-les-Bains tout à fait intéressante, avec en outre la présence d'une marquise et d'un parc doté d'arbres remarquables (Photos 1 et 2). Enfin, Luchon, sans être monumentale ou très originale, représente néanmoins une variante du modèle Midi classique, avec un édifice central à quatre travées encadré de longues ailes, le tout parcouru par une marquise finement décorée.

Huit gares uniques et monumentales caractérisent assez souvent les grandes (et déjà célèbres) villes d'eau qui affichent leur ambition et souhaitent attirer, séduire (et rassurer) la clientèle bourgeoise. Près de la moitié des gares thermales observées disposent incontestablement d'un caractère unique, voire monumental. La station peut être de taille minuscule, mais posséder un caractère architectural tout à fait singulier ; c'est le cas de la gare de Cauterets (1897, P.C.L.) qui dessert l'une des cités thermales et touristiques les plus célèbres des Pyrénées. Classée monument historique depuis 1981, elle a été réalisée en bois ouvragé, ce qui lui confère une dimension pittoresque évoquant un chalet montagnard, voire une gare de western (Photos 3 et 4). À Bagnères-de-Bigorre (1862, Compagnie du Midi), autre ville d'eau célèbre des Hautes-Pyrénées, de beaux assemblages de pierres et de briques ont donné au bâtiment voyageurs une configuration absolument unique, avant qu'un mouvement de modernisation, intervenu dans les années 1970, ne vienne recouvrir l'ensemble d'un enduit beige et fasse disparaître les lambrequins et la marquise.

En Auvergne, les compagnies ne manquent pas d'ambition lorsqu'il s'agit de desservir ces grandes villes d'eau. Vichy (1862) avec son style Napoléon III, a longtemps été considérée comme une des plus belles gares du PLM avant, là aussi, une rénovation contestée dans les années 1970. Royat (1881, P.O.), qui partage sa desserte ferroviaire avec la ville de Chamalières, est



Photos 3 et 4 - Cauterets, décembre 2004. Transformée en gare routière, ceinturée d'un parking automobile, l'ancienne gare fait régulièrement l'objet d'opérations de rénovation des façades avec le concours financier de l'Etat (l'édifice étant inscrit à l'inventaire des monuments historiques).

une reproduction fidèle de style Louis XIII de la gare vosgienne de Plombières construite une année plus tôt. L'utilisation de la brique (encadrée de tuffeau) contraste avec la pierre volcanique. La marquise en fonte est décorée de têtes de lions. L'ensemble (bâtiment voyageurs et abri de quai) est inscrit à l'inventaire des monuments historiques depuis le 25 novembre 1994. Châtelguyon (1912 - 1972, PLM), voulue par E. Clémentel, possède toujours son immense marquise qui parcourt les deux façades richement ornementées, restées dans leur état d'origine. Toujours dans le Puy de Dôme, cette fois-ci dans le massif du Sancy, les stations de La Bourboule et du Mont-Dore (1899, P.O., Photo 5), séparées d'à



Photo 5 - Le Mont-Dore, juin 2005. La gare terminus témoigne d'un important déclin qui ne date pas d'aujourd'hui. Des menaces de fermeture à tout trafic pèsent déjà sur le site depuis plusieurs décennies.

peine 7 kilomètres, possèdent des bâtiments voyageurs identiques avec 12 portes protégées par une marquise dominée par deux pavillons à toiture mansardée. A la Bourboule, l'abri de quai est toujours visible (Photo 6) ; construit à partir d'un bel assemblage de briques polychromes et d'une structure métallique, il constitue un ouvrage d'une rare finesse dont la toiture et les ornements font écho aux éléments de la marquise du premier quai.

L'édifice le plus impressionnant et le plus insolite demeure incontestablement celui de la gare de Nérès-les-bains (1932, P.O.). Cette modeste ville d'eau de l'Allier, d'à peine 2000 habitants, dispose en effet d'un bâtiment ferroviaire monumental de style art

déco, construit en moellons de grès et granite rose, et surmonté d'une toiture aux tuiles vernissées habituellement caractéristiques des grands édifices civils et religieux de l'architecture bourguignonne. La gare a conservé pendant longtemps son très intéressant abri de quai avant que celui-ci ne soit détruit en 2006 afin de permettre le surprenant réaménagement du bâtiment voyageur en salle culturelle ; surprenant parce que le classement de l'édifice en tant que monument historique, en 1975, ne laissait pas a priori supposer de telles modifications de la façade côté voies sur laquelle on a apposé une grande halle de verre (entraînant par la même occasion la destruction d'un abri de quai unique composé de mosaïques et faïences).



Photo 6 - La Bourboule, août 2006. La gare voisine du Mont-Dore a conservé un remarquable abri de quai qui n'est plus utilisé suite à la neutralisation de la voie d'évitement. L'édifice, non protégé, se dégrade rapidement. L'ancienne salle d'attente témoigne aussi de l'intérêt de protéger l'intérieur et le mobilier des édifices (vieilles affiches, banquettes en bois...).



Photo 7 - Nérès-les-bains, novembre 2005. La gare monumentale contraste à la fois avec la taille de la cité desservie (à peine 2000 habitants) et avec le caractère très éphémère de l'activité ferroviaire (ouverture en 1932, fermeture en 1939, presque un record en France). Transformée en 2006 en salle socio-culturelle (pour un montant de 3,4 millions d'euros), elle a perdu ce paysage photographié ici un an avant les travaux.

III - QUELLES PERSPECTIVES POUR LE PATRIMOINE FERROVIAIRE THERMAL ?

Constructions uniques, typiques ou banales, minuscules ou monumentales, les 17 gares étudiées représentent, chacune à leur manière, un pan de l'histoire locale lorsqu'il ne s'agit pas d'un patrimoine relevant de l'histoire nationale de l'architecture ferroviaire. A qui appartient désormais ce patrimoine ? Quel a été son sort face aux divers mouvements de modernisation de l'outil ferroviaire depuis bientôt un siècle et demi ?

1 - Le patrimoine de RFF et de la SNCF

Depuis 1997, les emprises ferroviaires sont devenues la propriété de l'établissement RFF. Celui-ci a en charge la gestion de ces biens qui semblent voués à trois scénarios possibles, en fonction des contextes d'exploitation des lignes concernées.

Le premier scénario est celui d'une exploitation « minimaliste ». Dans ce cas, le bâtiment voyageurs et les emprises sont devenus trop grands, les rails ne servent presque plus, la gare gère principalement (La Bourboule, Le Mont-Dore) ou exclusivement (Bagnères-de-Bigorre) des circulations TER en autocar. Le patrimoine s'est dégradé faute d'entretien ; le paysage de la gare traduit une phase de « modernisation » ancienne – aujourd'hui dépassée et décriée – typique des années 1970, le tout dans un décor de désolation trahissant des décennies de non gestion.

Le second scénario peut directement découler du premier ; après une longue phase de dégradation, le verdict de la fermeture tombe ; le bâtiment voyageurs est désaffecté et attend un nouveau sort. L'édifice est souvent promis à une procédure de vente. Il s'agit du contexte de fragilité maximale pour le patrimoine qui se trouve exposé à toutes formes de dégradation, à l'image des zones de friches industrielles. Dans le secteur des Combrailles, à Châteauneuf et Evaux-les-bains, les fermetures récentes ont laissé deux gares caractéristiques du P.O. dans un état d'abandon préoccupant.

Le troisième scénario est celui que l'on pourrait qualifier d'idéal ; la gare toujours en activité a été modernisée tout en respectant son passé architectural, voire en revalorisant celui-ci. L'exemple le plus probant, et somme toute très logique, est celui de Vichy, grande ville thermale qui est aussi aujourd'hui une agglomération de 60 000 habitants comprise elle-même dans la vaste aire urbaine de Clermont-Ferrand (400 000 habitants). Le bâtiment voyageurs, à la modernisation contestée des années 1970, est en cours de rénovation pour retrouver sa physionomie originelle, notamment sa façade richement ornementée masquée par des

panneaux vitrés et métalliques correspondant à une phase d'agrandissement du hall. Parmi les autres villes d'eau promises à un avenir ferroviaire, citons Luchon, « reine des Pyrénées » portée par le dynamisme de la région Midi-Pyrénées, et Vic-sur-Cère qui a la chance d'être établie sur l'axe prioritaire Clermont - Aurillac.

2 - L'État et les collectivités

Les cas d'inscription ou de classement monument historique ne sont pas rares ; un rapide calcul révèle même que les gares des villes d'eau représentent la deuxième catégorie la plus représentée dans l'ensemble des gares inscrites à l'inventaire des monuments historiques (après les bâtiments voyageurs des grands centres urbains) : on retrouve dans cette – courte – liste des bâtiments ferroviaires protégés Royat-Chamalières, Cauterets, Nérès-les-bains (ou encore Vittel). Des bâtiments mériteraient incontestablement une procédure de classement : l'abri de quai de la Bourboule, la gare de Vic-sur-Cère, ou l'ancien terminus de la Raillière de la commune de Cauterets.

Des ré-affectations plus ou moins heureuses ont été entreprises par les collectivités territoriales qui ont acheté ces édifices dont la SNCF puis RFF se sont séparés. Certains ont pu être transformés en équipements culturels en respectant plus ou moins l'édifice des voyageurs ; Châtelguyon a conservé l'intégralité de ses façades et de ses décorations extérieures. A Nérès-les-bains, l'aménagement est plus contestable (3,4 millions d'euros pour aménager une salle socio-culturelle). A Cauterets, la gare est devenue routière et délivre toujours des billets.

3 - Le patrimoine privatisé

Rappelons enfin que, dans le domaine ferroviaire comme ailleurs, l'intervention sur un site ou un édifice vendu à un privé dépend de son statut au regard des Monuments Historiques et de la volonté du nouvel acquéreur... Le caractère historique peut donc être définitivement altéré et le patrimoine relever dans certains cas de « l'archéologie ferroviaire ». A Bourbon-l'Archambault comme à Luz-Saint-Sauveur, le passant peut encore observer ces anciennes gares plutôt bien préservées par leurs nouveaux propriétaires. Saint-Christau, la station thermale de la vallée d'Aspe, est aujourd'hui fermée mais, paradoxalement, le chemin de fer Oloron-Sainte-Marie - Bedous va rouvrir en 2010...

CONCLUSION

L'état des lieux qui vient d'être dressé à partir de 24 cités thermales nous indique finalement un certain nombre de faits et tendances peu connus. Près d'un tiers des villes d'eau n'auront jamais connu l'arrivée directe du train (seulement reliées par navette routière à la gare la plus proche). Cinq villes d'eau semblent tout au plus (et le cas de Capvern reste encore discutable) être assurées de pouvoir continuer de proposer à leur clientèle une desserte ferroviaire moderne. Près de la moitié des gares construites ont un caractère original et monumental, et les autres présentent également pour la plupart une typicité à conserver.

Les enjeux de la préservation du patrimoine ferroviaire des villes d'eau sont en réalité multiples. Il faut d'abord rappeler que la réouverture du trafic est dans certain cas encore possible, l'exemple de Saint-Christau le prouve. Après 22 ans d'interruption des

circulations entre Oloron et Bedous, la réouverture du tronçon du transpyrénéen occidental est en effet annoncée pour 2010, grâce à l'engagement du conseil régional d'Aquitaine. De même, les lignes des Combrailles fermées en 2007 et 2008 sont encore physiquement présentes et une étude concernant la valorisation de l'artère Volvic - Lapeyrouse a déjà rendu des conclusions encourageantes. Dans d'autres cas, l'enjeu est celui de la sauvegarde de monuments en péril ; il convient de réfléchir aux modes de réaffectation de ces sites avant qu'il ne soit trop tard. Une fois acquis par les collectivités locales, l'enjeu est aussi celui de la valorisation culturelle et touristique de ce patrimoine industriel, social, bâti et paysager. Enfin, l'enjeu est urbanistique ; quelle que soit la taille de la ville d'eau, les sites de gare méritent d'être inclus dans les projets de rénovation urbaine et de valorisation du cadre de vie.

BIBLIOGRAPHIE

- ANGELIER M., 1978. Un siècle et demi de gares françaises. *La vie du rail*, 1672 et 1673.
- ASSOCIATION DE LA ROUTE DES VILLES d'EAUX DU MASSIF CENTRAL, 2008. 17 destinations au patrimoine unique. Dossier de presse, 35 p.
- CHADEFAUD M., 1987. Aux origines du tourisme dans les Pays de l'Adour (Du mythe à l'espace : un essai de géographie historique). Département de géographie et d'aménagement de l'Université de Pau et des pays de l'Adour, 1010 p.
- CHARENTREAU J., CUYNET J. et MATHIEU G., 1993. Les Chemins de Fer du PLM. Ed. La vie du rail / La Régordane, 384 p.
- COLLECTIF, 2001. Le chemin de fer à la conquête des campagnes ; l'aménagement du territoire par les réseaux dits « secondaires » en France, histoire et patrimoine, 1865-2001. Association pour histoire des chemins de fer (AHICF). *Revue d'histoire des chemins de fer*, 24-25, 447 p.
- COLLECTIF, 1999. Le patrimoine ferroviaire ; enjeux, bilans, perspectives. Association pour histoire des chemins de fer (AHICF). *Revue d'histoire des chemins de fer*, 20-21, 388 p.
- COLLECTIF, 2006. Actes du premier symposium thermal européen. Aix-les-Bains, 15-17 novembre.
- JAMOT C., 1988. Thermalisme et villes thermales en France. Publications de l'Institut d'études du Massif central, Fascicule 32. Faculté des lettres et sciences humaines de l'Université de Clermont-Ferrand, 540 p.
- LARTILLEUX H., 1956. Géographie des chemins de fer français. Paris, Chaix, tome 1, 369 p.
- PÉREZ J., 2004. Histoire du thermalisme en France au XIX^e siècle : Eau, médecine et loisirs. Paris, Economica, 334 p.
- SCELLES C., 1999. Gares, ateliers du voyage. Paris, Remparts, 144 p.
- VERGEZ-LARROUY J-P., 1995. Les chemins de fer du Midi. Ed. La vie du rail / La Régordane, 240 p.
- VERGEZ-LARROUY J-P., 2001. Les chemins de fer du PO. Ed. La vie du rail / La Régordane, 320 p.
- WOLKOWITSCH M., 2004. Le siècle des chemins de fer secondaires en France, 1865-1963, les entreprises, les réseaux, le trafic. Association pour histoire des chemins de fer (AHICF). *Revue d'histoire des chemins de fer*, 30, 488 p.

SITOGRAPHIE

- <http://www.culture.gouv.fr/culture/inventai/patrimoine/>, base Mérimée du Ministère de la culture
- <http://lesgares.com>, « Il était une fois les gares », site personnel de J-P. Foitet consacré à l'architecture ferroviaire
- <http://www.laviedurail.com>, site du magazine « la vie du rail »
- <http://www.villesdeaux.com>, site de l'association de la route des villes d'eaux du Massif central

PARC ET THERMALISME EN MILIEU TRANSFRONTALIER

INFLUENCES ET DISSEMBLANCES DANS UN CONTEXTE FRANCO-ALLEMAND

*PARKS AND SPA RESORTS ON BOTH SIDES OF FRANCE-GERMANY BOUNDARY:
INFLUENCES AND DIFFERENCES*

COLETTE BEAUDÉAN

*Comité départemental du tourisme de l'Essonne, 19 rue des Mazières, 91000 Evry.
colette.beaudean@gmail.com*

RÉSUMÉ

L'utilisation des eaux minérales et thermales est à la source d'une architecture typique dont les parcs et les jardins ont été des pièces maîtresses. Ils permettent de renforcer les effets de la cure grâce aux promenades que l'on y effectue tout en favorisant les rencontres. Ils participent aussi à l'embellissement et à l'aération de la ville.

La station de Baden-Baden (Bade-Wurtemberg) s'est dotée de jardins et de promenades dès le XVII^e siècle ; la Lichentaler Allee, bordée de chênes est restée, au fil des siècles, le joyau de la station. A cinquante kilomètres de là, Niederbronn (Bas-Rhin) s'efforça de rivaliser avec Baden-Baden en s'ornant de parcs arborés et en aménageant sa forêt communale pour les excursions des curistes.

Mais depuis le milieu du XX^e siècle, les destins des deux stations ont divergé. A Baden-Baden, les parcs ont conservé tout leur éclat, alors qu'à Niederbronn, les jardins sont affectés par le déclin thermal. Aujourd'hui, il en résulte un contraste fort entre les deux stations.

MOTS-CLÉS : STATIONS THERMALES, PARCS, JARDINS PUBLICS, AMÉNAGEMENT URBAIN, BADEN-BADEN, NIEDERBRONN.

ABSTRACT

Parks and gardens have always been masterpieces of the architecture and town-planning in spa resorts. They are the places where patients go for a walk, get a better health and may meet other people. And of course, they take part in ornament and airiness of towns.

Baden-Baden, in German Land of Bade-Wurtemberg, has arranged gardens as soon as XVII^e century: planted with oaks and carefully maintained, the Lichentaler Allee remains the most famous all along the history of the resort. The Alsatian town of Niederbronn tried to emulate Baden-Baden; the communal wood became a place for walking, and several parks were fitted up.

But since the 1950's, the fortunes of both resorts diverged. In Baden-Baden, parks remain in the full bloom of their beauty, whereas parks and gardens in Niederbronn are affected by the wane of thermal activity. So the contrast between both resorts is growing.

KEYWORDS: SPA RESORTS, PARKS, PUBLICS GARDENS, URBAN.

INTRODUCTION

Le thermalisme est l'ensemble des moyens médicaux, sociaux, sanitaires mis en œuvre pour l'utilisation thérapeutique des eaux minérales et thermales, des gaz thermaux et des boues. Le mot thermalisme implique que soit utilisée une eau dont les vertus curatives sont reconnues par le corps médical. L'activité thermique, présente depuis l'Antiquité dans de nombreux pays d'Europe, a engendré une pratique de plus en plus populaire, à la source d'une architecture typique, puis d'ensembles urbains particuliers.

L'histoire du thermalisme en Europe est une succession de périodes plus ou moins fastes, des thermes gallo-romains aux cités thermales de la belle époque. Dès l'antiquité, une architecture thermique se met en place : le jardin et la promenade s'installent parmi les éléments essentiels en périphérie des soins. Après quelques siècles mouvementés, le thermalisme est de nouveau d'usage dès le XVIII^e siècle, et devient un phénomène de mode au XIX^e siècle. Ce siècle voit la naissance d'un style uniforme, d'un vocabulaire particulier, d'une architecture à la fois commune à de nombreuses villes et à un style si éclectique. Les générations qui se succèdent au XIX^e siècle voient dans le thermalisme un but lucratif : certains vont tout mettre en œuvre pour profiter de la « vogue thermique ». Une structure urbaine apparaît déjà : au centre de la ville, le bâtiment thermal, le casino et le kiosque sont indissociables du jardin, ou de la promenade, où les « curistes » se promènent et digèrent les traitements qu'ils viennent d'ingérer. Une frénésie thermique va gagner le pays dès le milieu du XIX^e siècle jusqu'à son apogée dans les années 1920. Les spéculations autour de l'industrie thermique, de l'hôtellerie et du commerce entraînent des créations d'établissements thermaux tous azimuts. En France, la première moitié du XIX^e siècle correspond à une période de construction intense : les premiers grands établissements thermaux font leurs apparitions dans différentes villes.

Cette explosion de l'activité thermique est aussi européenne : de là naît une globalisation du vocabulaire de l'anglais au français, du français à l'allemand et vice-versa. Au milieu du XIX^e siècle apparaissent

les termes de « cures », de « trinkhall » ou « drinkhall », de « kurhaus » dans le vocabulaire français. Paradoxalement à ce phénomène de globalisation, naît une concurrence thermique qui s'installe entre les villes européennes, amplifiée par les nationalismes qui renaissent à cette même période. La situation est encore plus délicate en milieu transfrontalier, notamment à la frontière franco-allemande d'avant 1871 où l'enjeu de la domination touristique était élevé au rang de compétition nationale. Dans ce contexte particulier, aiguisé par des enjeux économiques, les cités thermales mettent tous les atouts de leur côté pour attirer un curiste en recherche d'animations et d'occupations. Les parcs et jardins deviennent le centre de toutes les attentions car ils sont les principaux lieux de divertissement. L'étude de ces jardins thermaux est intéressante d'un point de vue paysager, social et historique.

Baden-Baden est un exemple européen de réussite : elle est l'une des plus importantes villes thermales européennes. Place historique, son architecture et ses jardins influencent de nombreuses villes d'eaux en commençant par Niederbronn-les-Bains en France. Cette petite ville alsacienne met tout en œuvre pour rivaliser avec le grand modèle allemand qu'elle a sous les yeux. Situées à une cinquantaine de kilomètres de distance, de part et d'autre de la plaine du Rhin, elles n'ont pourtant pas eu le même destin. Il est intéressant de mettre en parallèle l'histoire paysagère de ces deux villes, d'en souligner les ressemblances et les influences ; cela permettra de mieux comprendre le développement du jardin thermal dans le contexte européen, tel l'application d'un modèle.

L'étude porte sur le développement de ces deux villes au XIX^e siècle et donne des éléments de compréhension de l'état actuel de leurs parcs thermaux. Dans un premier temps, nous nous attacherons à définir les critères d'un jardin thermal avant d'analyser le développement des systèmes de parcs dans un milieu transfrontalier et l'influence qu'a pu exercer Baden-Baden sur sa voisine française. Enfin, nous analyserons les impacts de l'histoire sur l'état actuel des parcs dans ces deux mêmes villes.

I - JARDINS ET PARCS THERMAUX : ÉLÉMENTS HISTORIQUES ET SOCIOLOGIQUES POUR UNE DÉFINITION

Le jardin et l'espace thermal sont liés depuis de nombreux siècles : cette association a été remarquée dès l'Antiquité, autour des grands thermes romains notamment, comme ceux des empereurs Trajan ou Caracalla. Cette façon de concevoir l'espace thermal a plusieurs raisons : d'une part, le peuple romain est très proche de la nature. D'autre part, l'activité physique complète le soin par l'eau : le jardin est inclus rapidement dans l'espace des thermes.

À la Renaissance, l'aménagement paysager apparaît

sous la forme d'allées régulières, mails ou marquises qui indiquent le chemin des bains. Peu à peu, on se rend compte de l'importance de l'espace vert autour des bains : le système des cures de 21 jours est préconisé par les médecins, ce qui nécessite une activité « extra-cure » pour les baigneurs. La marche est de plus une activité conseillée par les médecins car elle facilite l'assimilation des eaux par le corps.

Les premières promenades sont ainsi conçues aux abords des maisons de bains : d'un style régulier, elles

sont en concordance avec le style de l'époque. On observe ces premières promenades dans les Pyrénées à Bagnères-de-Luchon ou en Seine-Maritime à Forges-les-Eaux où les premières tentatives d'urbanisme thermal sont élaborées. Avec ses premiers exemples, le schéma thermal se met en place : un édifice thermal est presque toujours accompagné d'un jardin, ce qui lui vaut une réputation et une attractivité plus importantes. Les guides du voyageur qui sont publiés à partir du XIX^e siècle donnent des commentaires sur les maisons de bains sans oublier d'en décrire les abords pour fournir le plus d'indications possible aux futurs baigneurs. Les lieux doivent être agréables. Le jardin devient donc la deuxième préoccupation après l'établissement lui-même.

Une deuxième phase vient asseoir le jardin thermal près de l'établissement en France : l'avènement de Napoléon III. Conscient de l'importance de l'urbanisme, il donne du souffle aux villes engorgées. On peut sans nul doute le mettre au rang des créateurs de jardins : grâce à lui, de nombreuses villes se sont dotées d'un parc en centre ville. Sa connaissance de l'Europe, et surtout de l'Angleterre, le guide vers un aménagement urbain qu'il considère comme idéal : des villes aérées, des artères principales quadrillant la cité ainsi qu'un réseau de communications important.

L'Allemagne, en matière d'aménagement paysager, n'est pas en reste. Les germaniques portent un grand intérêt au jardin et réalisent des modèles de villes-jardins autour des centres thermaux. Ces modèles sont très influents dans toutes l'Europe. C'est notamment le cas à Baden-Baden, l'une des plus grandes villes d'eaux d'Allemagne et d'Europe.

Au XX^e siècle, les espaces verts prennent une nouvelle ampleur dans la société avec la découverte de leurs bienfaits sur l'atmosphère et le bien-être de l'homme urbain. L'importance des « places vertes » est

en effet constatée pour l'isolation visuelle et la protection contre le bruit. Elles ont aussi un rôle de thermorégulation. En milieu thermal, le jardin devient social : il acquiert de nouvelles fonctions. Le jardin est l'occasion pour l'homme de dompter la nature incontrôlable. Même en milieu rural, où les forêts et les champs sont omniprésents, on entoure l'édifice thermal d'un jardin, telle une belle demeure que l'on voudrait orner. Plusieurs catégories de structures peuvent être répertoriées en France :

- l'établissement de bains isolé avec un jardin mitoyen ;
- les petites stations dites moyennes qui passent du village l'hiver à la ville l'été, équipées d'un établissement et d'hôtels et qui possèdent généralement un parc ;
- la ville thermale, quelque fois hydropôle¹, possédant tous les appareils nécessaires au succès : établissement thermal, casino, hôtels de luxe, divertissements et qui organise un schéma urbain cohérent lié par l'espace vert.

Pour toutes ces différentes structures, le jardin est omniprésent. La ville thermale apparaît au XIX^e siècle avec un schéma urbain européen. L'espace thermal qui au départ est souvent un peu excentré du centre ville devient partie prenante de cette structure : il apporte une économie prospère qui va de pair avec une construction dynamique et florissante. La ville se recentre au cours du XIX^e siècle le plus souvent autour de son centre thermal. Le parc situé à la fois près de l'établissement thermal et du casino devient une structure urbaine essentielle. Il est un attribut de plus dans la concurrence qui se met en place entre les villes d'eaux.

Il est intéressant d'analyser le cas de deux villes thermales, Niederbronn-les-Bains et Baden-Baden, situées aux frontières de la France et de l'Allemagne, et d'observer leur développement paysager.

II - L'HISTOIRE PAYSAGÈRE DE NIEDERBRONN-LES-BAINS ET DE BADEN-BADEN : ENTRE INFLUENCE ET CONCURRENCE

Le choix de l'étude de la structure paysagère de ces deux villes a plusieurs raisons :

- il y a un fort développement paysager et de nombreuses similitudes à mettre en avant ;
- elles sont chacune les villes thermales les plus dynamiques dans leur région ;
- l'histoire de la région a eu un impact sur leur développement et les a mises en concurrence (tensions franco-germaniques jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale) ;
- elles sont proches géographiquement.

1 - Baden-Baden

Baden-Baden est une ville d'eau ancienne, déjà

connue par les romains sous le nom de Civitas Aurelia aquensis. Elle se situe en Allemagne, dans le Land de Bade-Wurtemberg. Baden-Baden devient une des plus grandes villes thermales d'Europe dès la fin du XVIII^e siècle. Sa notoriété s'accroît rapidement au XIX^e siècle du fait du prestige de son casino, de ses spectacles et des activités variées. Durant ce siècle, des personnalités et des personnes aisées vont venir réinventer la ville par le faste et le luxe. Les promenades, les parcs et les jardins sont une des richesses de cette ville parcourant les siècles d'histoire : on peut citer La Lichtentaler Allee, les jardins du casino, la colline Michaelsberg, ou encore le Florentinerberg où se trouvent le jardin du château et le pourtour des établissements thermaux.

L'histoire de la plus vieille promenade de Baden-Baden, la « Lichtentaler Allee », débute en 1245 avec la



Photo 1 - Baden-Baden, illustration de Xavier Sandmann, 1836, BNUS.

fondation d'un couvent de cisterciens. Pour obtenir des revenus, les cisterciens exploitent les terres situées dans la vallée Lichtental le long de la rivière Oost, au sud de la ville. Racheté en 1655 par Moritz von Lassolaye, notable de Baden d'origine savoyarde, ces anciens champs deviennent une allée de chênes le long de la Lichtentaler Allee, sur le chemin du couvent jusqu'à Baden. En 1780, Carl Friedrich, Margrave de Baden complète cette allée par des châtaigniers. Au XIX^e siècle elle est réaménagée dans un style anglais. C'est en effet autour des années 1850 que Jacques Bénazet, propriétaire du casino de Baden-Baden, rénove la promenade. Malgré ces changements de style, elle perdure pourtant de manière durable au fil des siècles.

Près de la Lichtentaler Allee, un projet de maison de conversation et de Trinkhall voit le jour au début du XIX^e siècle. Commencés par l'architecte Weinbrenner, les bâtiments sont finalement réalisés par Hübsh et les jardins sont confiés à Zeyher.

Le paysagiste va élaborer les pelouses à l'an-

glaise près de l'établissement et va également débiter l'aménagement de la colline Michaelsberg derrière le Trinkhall. Cette colline sera achevée dans la deuxième moitié du XIX^e siècle. Ces deux éléments complètent le maillage vert autour du centre thermal et permettent une continuité d'espace vert. En cette fin de XIX^e siècle, on assiste aux prémices d'un système paysager urbain, qui va encore être développé dans les années futures.

A l'est de la ville, le nouveau château et son jardin sont édifiés au début du XVIII^e siècle par les margraves de Baden. Au cours du XIX^e siècle, l'ensemble est complété par des parterres autour des bains Frédéric qui ont été réalisés par l'architecte Dernfeld, inspecteur des travaux publics.

Le système de parc formé au cours des trois derniers siècles va être un atout de plus dans la politique commerciale de la ville. Les parcs participent en effet à l'embellissement de la ville et au bien-être des curistes. Les parcs deviennent également un sujet de publicité, comme quelques affiches du début du XX^e siècle le montrent. Il s'agit ici de mettre en avant les avantages de la cité : hôtels, établissements de soins, distractions,



Photo 2 - Baden-Baden, plan de ville, 1884 : la Lichtentaler Allee se dessine au centre.



Photo 3 - Baden-Baden, plan du Trinkhall et de ses jardins, Zeyher, 1839.



Photo 4 - Baden-Baden,
plan des jardins du nouveau château, 1900.

et belles promenades. Par chance, la ville a été en partie épargnée par les deux guerres mondiales et a su conserver un public aisé, attiré par le calme et la tranquillité de son quartier thermal. Son ascension a perduré, permettant à la ville d'entretenir et d'embellir son patrimoine durant de nombreuses années.

Au XX^e siècle, l'ensemble urbain a été complété par d'autres espaces verts : Gönneranlage, Flörentinenberg, le Jardin des nouvelles roses...

2 - Niederbronn-les-Bains

Niederbronn-les-Bains est une ville d'Alsace qui se situe dans le Nord de cette région, située à une trentaine de kilomètres de la frontière allemande. Elle est caractérisée par un aménagement paysager urbain et forestier intense tout au long du XIX^e siècle.

Dès l'Antiquité, Niederbronn appelé « *Taberna Vassiovana* », intéresse les Romains pour les eaux thermales qu'ils y découvrent. A la Renaissance, Philippe de Hanau, guéri par les eaux, fait protéger la source d'une pyramide de verre qui évite le mélange avec les eaux de pluie. Le thermalisme prend une autre dimension avec l'arrivée à Niederbronn de la famille De Dietrich qui acquiert à la fin du XVIII^e siècle un terrain, fait construire un « *pavillon de bains* » et aménage une promenade. La ville devient propriétaire de la promenade en 1808.

En 1822, de nouveaux travaux sont engagés pour la construction d'un « nouveau Vauxhall », lieu de divertissement pour les curistes, et un deuxième jardin vient compléter la promenade. L'architecte départemental François-Jacques-Roch Reiner dresse des plans d'aménagement qui ne verront jamais le jour. Trois plans sont ici présentés. Ils permettent de se rendre compte de la diversité des idées, de la créativité de l'architecte et de son ambition pour la ville.

Homme éclairé et cultivé en matière d'art paysager, cet architecte aurait pu apporter beaucoup à la ville. Dans son ouvrage, *Considérations générales sur les établissements des bains de Niederbronn*, on perçoit son goût pour l'art paysager et les orientations qu'il souhaite prendre : « *Les Anglais et les Allemands ont principalement contribué à faire faire de grands progrès à cette partie de l'art qui s'occupe plus particulièrement de la décoration extérieure et de la disposition pittoresque des environs d'une fabrique quelle qu'elle soit. Un amour-propre mal placé ne nous empêchera pas d'avouer que les architectes anglais dont généralement les productions sont à une si grande distance de celles de nos artistes, ne leur soient pourtant infiniment supérieures dans l'art d'embellir les paysages et d'en disposer savamment les effets sur un terrain donné* ». Il choisit de nommer « la maison de conversation » par le terme « Vauxhall ». Le Vauxhall est un parc de divertissement et d'amusement à Londres conçu au XVII^e siècle dans les jardins de Kennington où les nobles pouvaient se distraire grâce à de nombreuses attractions. Reiner place ainsi le jardin au sein de son projet grâce à la dénomination qu'il emploie pour son bâtiment.

D'autres promenades voient plus tard le jour : le parc du Herrenberg est planté à la toute fin des années 1830. Situé à l'extrémité est de la ville, il clôt le réseau urbain et permet un lien vert. L'architecte Gustave Klotz, auteur de ce plan, va bien plus loin dans le projet d'unification.



Photo 5 - Promenade et Vauxhall, milieu XIX^e siècle, BNUS.

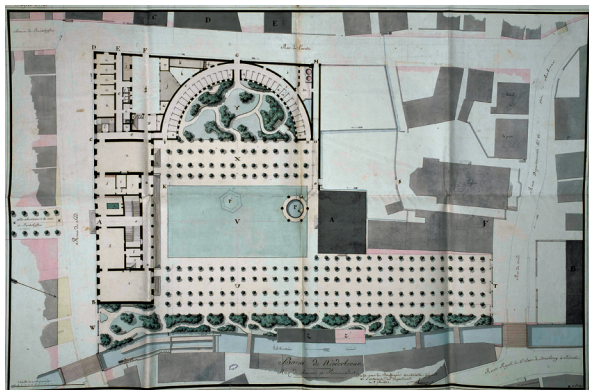


Photo 6 - Niederbronn-les-Bains, plan, 5 septembre 1822, Architecte Reiner, Archives départementales du Bas-Rhin.

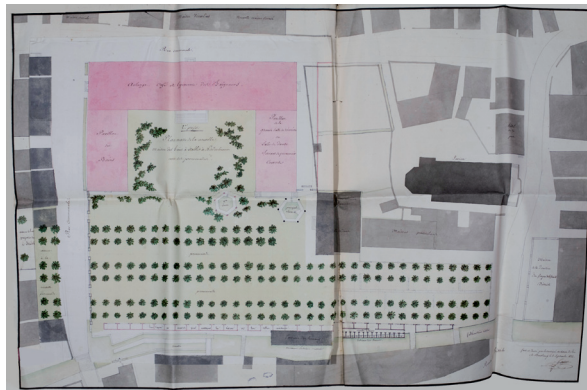


Photo 8 - Niederbronn-les-Bains, plan à retombe, 3 septembre 1822, Architecte Reiner, Archives départementales du Bas-Rhin.



Photo 7 - Niederbronn-les-Bains, plan à retombe, 3 septembre 1822, Architecte Reiner, Archives départementales du Bas-Rhin.

Les projets de la ville ne s'arrêtent pas là, et poussés par la réussite et le succès, les élus de Niederbronn-les-Bains vont imaginer un système paysager digne des plus grandes villes, qui pourrait être le pendant français à Baden-Baden. En 1841, l'architecte Gustave Klotz réalise pour la ville un plan aquarellé de cinq mètres représentant la ville et ses promenades vertes. Gustave Klotz est alors l'architecte de la restauration de l'œuvre Notre Dame, celui qui aurait pu vraiment

amener la ville à un autre niveau de développement. En effet, au delà d'un simple jardin, il imagine un projet paysager à l'échelle de toute la ville de Niederbronn, un projet gigantesque compte tenu des moyens financiers de la commune. Ce plan ne donnera pas suite à des travaux.

Ce projet aurait permis à Niederbronn-les-Bains d'être une vraie concurrente aux autres villes proches. Ce premier projet d'ensemble urbain a sans doute été influencé par la réussite de sa voisine allemande.

A la fin du XIX^e siècle Niederbronn ne va pas pouvoir bénéficier de la « fièvre thermique » qui se répand sur les villes thermales françaises et européennes du fait de sa position : en 1871, elle devient allemande et se coupe de sa grosse clientèle que sont les français. Elle est de plus en concurrence avec les villes thermales outre-Rhin en ne bénéficiant plus des aides françaises essentielles à son essor. La « Perle des Vosges du Nord » va également souffrir des deux guerres mondiales et leurs conflits qui vont, notamment en 1945, toucher le centre thermal. Le XX^e siècle est marqué par la reconnaissance de son statut de station hydrominérale par le décret du 7 juillet 1926 et l'accord de l'Etat français d'ouvrir des jeux de hasard (casino en 1927).

III - ETAT DES LIEUX DANS LE CONTEXTE THERMAL ACTUEL

L'état des parcs dans les deux villes thermales correspond à l'histoire de ces villes et à leur déclin ou à leur réussite. En effet, si au temps de leur pleine expansion, Baden-Baden et Niederbronn-les-Bains n'affichaient pas la même clientèle, les différences s'accroissent avec le temps. Cela est dû au fait que Baden-Baden a spécialisé son thermalisme vers le bien-être et le ludique : les saisons thermales disparaissent au profit d'un public de curistes constant toute l'année. Ses parcs, bien entretenus d'année en année, ont pris une place prépondérante dans la ville et sont à eux seuls un lieu de tourisme : cette attention est significative et révèle la réussite de l'entreprise thermique.

A Niederbronn-les-Bains, au contraire, le thermalisme

est devenu médical, touchant beaucoup moins de personnes, principalement des personnes âgées : les cures thermales étant plus difficilement prises en charge par le système social français, ce type de public a aussi tendance à se raréfier. Suite à la Seconde Guerre Mondiale, la mairie a dû reconstruire le centre ville, le Vauxhall et l'établissement de bains. La promenade des bains a été détruite également et sa reconstruction a donné lieu à deux phases de travaux : dans les années 1950, un jardin mixte d'inspiration anglaise et française a remplacé la promenade, puis dans les années 1990, une partie de cette création a été rasée au profit d'une place minérale. Les autres parcs et promenades ont été réaménagés, ou reclassés en promenade fores-



Photos 9, 10, 11 et 12 - Parcs et jardins de Baden-Baden, la Lichtentaler Allee (Photos Colette Beaudéan, 2008).



Photo 13 - Les différents parcs de Niederbronn-les-Bains, le jardin public (Photo Colette Beaudéan, 2008).

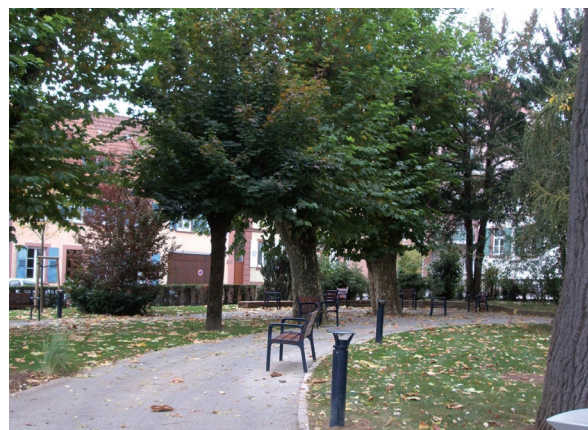


Photo 14 et 15 - Les différents parcs de Niederbronn-les-Bains, les jardins du casino (Photos Colette Beaudéan, 2008).

tière. Le retour de la ville au statut de petite ville d'Alsace ne permet pas l'entretien de l'ensemble de ces parcs : les moyens financiers ne sont plus assez importants. Niederbronn-les-Bains n'a plus conscience de l'importance de ses promenades : son patrimoine en est menacé.

*Photo 16 - Les différents parcs de Niederbronn-les-Bains, le jardin des Anglais
(Photo Colette Beaudéan, 2008).*



CONCLUSION

Niederbronn-les-Bains et Baden-Baden ont eu des ambitions partagées : celles de réussir le pari économique d'une grande cité thermale. Les systèmes de parcs imaginés des deux côtés du Rhin en sont une preuve. Cela met en avant l'importance du parc dans le centre thermal en matière d'attrait touristique et d'embellissement de la ville. Si les projets ne sont pas innovants dans le style, ils ont la particularité d'être à l'échelle de la ville et non plus à l'échelle d'une maison ou d'une demeure. Le thermalisme donne lieu à des projets coordonnés : les premiers signes d'urbanisme.

L'histoire de ces deux régions et la concurrence trop forte et trop dense n'a pas réussi à la ville thermale alsacienne. Le passage à l'Alsace allemande en 1871 a aggravé les disparités entre les deux villes et n'a fait qu'augmenter la domination de Baden-Baden. Sur le plan paysager, la cité allemande possède un « centre vert » important, l'un des plus importants d'Europe en milieu thermal. Agrandi d'année en année et respecté par la population, il est une des plus belles richesses

de la ville. Il est devenu un modèle européen copié et envié de toutes les villes thermales car il permet des espaces de respiration et un très bel embellissement naturel. La considération que les Allemands portent à leurs parcs et jardins est une grande chance pour les jardins historiques de ce pays : élevé au rang de patrimoine, les parcs et jardins de la ville thermale sont sauvegardés et préservés.

Niederbronn-les-Bains, quant à elle, a subi l'outrage du temps : accaparées par les réparations et restaurations dans les années 1950, les municipalités successives ont minimisé au fil des ans l'aspect paysager de leur ville. Deux facteurs ont entraîné une situation délicate pour la petite ville thermale : la baisse des fonds départementaux finançant autrefois le développement de la ville et la crise du thermalisme français. D'un patrimoine paysager important, les parcs ont été déclassés en structures vertes, support d'activités ludiques (mini-golf), de lieu de commémorations ou de lieu d'événements saisonniers.

SOURCES

Archives de la Bibliothèque Nationale Universitaire de Strasbourg.

Archives du Bas-Rhin.

Archives de la société d'Horticulture de Strasbourg

Gazette médicale du Bas-Rhin, 1841-1845 ; 1852-1856 ; 1862-1866 ; 1867-1871.

BIBLIOGRAPHIE

BLUM P., s.d. Les sources médicinales d'Alsace. Ed. de Strasbourg médicale.

GRAFFENAUER J.-Ph., 1806. Essai d'une minéralogie économo-technique des départements du Haut et Bas-Rhin formant la ci-devant Alsace. Strasbourg, Louis Eck impr.-libr., 354 p.

KIRSCHLEGER Fr., 1829. Essai sur les eaux minérales des Vosges. Strasbourg, Levraut, 43 p.

KIRSCHLEGER Fr., 1863. Les eaux acidules des Vosges et de la Forêt Noire, point de vue de leur histoire scientifique (depuis 1550 jusqu'à 1789). Strasbourg, 28 p.

ROBERT A., 1857. Guide du médecin et du touriste aux bains de la vallée du Rhin et de la forêt noire et des Vosges. Strasbourg : CF Schmidt, 309 p.

ROBERT A., 1854. Des eaux minérales d'Alsace, des causes de leur décadence et des moyens de les réhabiliter. Strasbourg : Silbermann, 7 p.

STOEBER V. et TOURDES G., 1862. Hydrographie médicale de Strasbourg et du département du Bas Rhin. Strasbourg, Treuttel et Würtz, 228 p.

WEIGEL B., 2005. Die Lichtentaler Alle, Denkmall der Gartenkunst in Baden-Baden. Baden-Baden, Aquensis, 160 p.

WILKÉ A., 1878. Baden-Baden, Guide pour la ville et les environs. Librairie de la Cour.

LES GROTTES, ÉLÉMENTS DU PATRIMOINE DES STATIONS THERMALES

LE CAS D'AIX-LES-BAINS

CAVES AS ELEMENTS OF SPA RESORTS HERITAGE, THE CASE OF AIX-LES-BAINS IN SAVOY

CHRISTOPHE GAUCHON

*Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie/CNRS, Campus scientifique, F 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex.
christophe.gauchon@univ-savoie.fr*

RÉSUMÉ

Dans le thermalisme tel qu'il s'est développé au XVIII^e et au XIX^e siècles, les grottes ont souvent joué un rôle important pour la récréation pour les curistes ; les grottes constituaient autant d'éléments du patrimoine paysager mis en valeur et proposés à la visite. Et tel fut en particulier le cas à Aix-les-Bains dont le riche environnement était largement mis à contribution.

Ainsi, autour d'Aix et au cœur même de la station, quatre grottes ont-elles été associées à l'activité thermique. Il s'agit de la grotte Raphaël associée au souvenir lamartinien, de la grotte des Serpents située derrière le bâtiment des thermes, de la grotte de Banges (dans les Bauges) et de la grotte des Fées, au-dessus de Saint-Innocent.

La grotte des Serpents s'avère ici la plus riche en termes de patrimoine : les Archives départementales de la Savoie recèlent un épais dossier relatant les détails d'une affaire judiciaire qui se noua autour des grottes dans les années 1855-56. Joyaux de cet épais dossier, des plans des grottes furent levés pour éclairer les revendications des différentes parties. Au-delà de leur intérêt judiciaire, ces plans colorés sont d'une précision et d'un rendu étonnant et constituent à eux seuls un patrimoine exceptionnel.

MOTS-CLÉS : THERMALISME, PATRIMOINE, GROTTES, TOURISME, TOPOGRAPHIE SOUTERRAINE.

ABSTRACT

In many spa resorts during XVIIIth and XIXth centuries, caves were frequently used as places for the enjoyment of tourists and patients taking a cure. Caves were identified as elements of hydrothermal heritage. So it was in the surroundings of Aix-les-Bains, the main spa resort in Savoy, where the lake of Bourget, the mountains and the gorges were recommended for excursions.

At less four caves were arranged for tourism, three around Aix and the last one down town: the cave Raphaël, sung by the great romantic poet Lamartine; the cave of Banges in the Bauges mountains; the Fairies cave, just above the lake; and the Snakes cave, behind the baths. The snakes cave is the most significant for our purpose: the Record Office of Savoy keeps a very thick dossier about a lawsuit brought in 1855-56 for the possession and for the access to these caves. The masterpieces of this dossier are several cave surveys drawn to have a better understanding of the opposing parties. These coloured plans are very important for the history of caves surveying, and add to the patrimonial value of these caves.

KEYWORDS: SPA RESORTS, HERITAGE, SHOW CAVES, TOURISM, CAVES SURVEYING.

INTRODUCTION

Le patrimoine est ici compris comme l'ensemble des ressources disponibles dont la gestion est réglée par le double souci d'en conserver l'usufruit et d'en assurer la transmission. Le patrimoine d'une station thermale nécessaire à son fonctionnement comprend certes les bâtiments d'accueil et de soin, les bâtiments d'agrément tels le casino ou le théâtre, mais aussi les sources et l'aquifère lui-même, dès lors qu'une gestion hasardeuse risquerait de les mettre à mal, et toute une série de sites et de « curiosités naturelles » (pour reprendre l'ancien vocable) mis en jeu dans l'attractivité et la réussite de la station. Qu'un seul de ces éléments vienne à manquer, sur le plan quantitatif ou qualitatif, et c'est tout un fragile équilibre qui s'effondre !

Dans le tourisme thermal tel qu'il s'est développé au XIX^e siècle, les grottes ont joué un rôle discret mais réel. Deux types de grottes sont ici concernées : d'abord les grottes directement associées à la source thermale, celles qui abritent par exemple les points de captage et dont l'atmosphère, la température, l'odeur prouvent au visiteur qu'il est au cœur même des mystères de la nature ; ces grottes sont souvent de dimensions restreintes et ne supposent pas de s'éloigner de l'établissement thermal construit dessus ou à proximité. Les grottes karstiques que l'on peut trouver dans les environs de la station constituent la deuxième catégorie : leur genèse peut être liée au contexte hydrother-

mal, mais rien n'y rappelle explicitement les sources et elles sont proposées aux curistes comme autant de buts d'excursion.

Même les stations qui ne possédaient pas de grottes se faisaient un devoir d'en présenter au moins une à leurs curistes. Un guide de Bagnères-de-Luchon signalait ainsi la petite grotte de Maylen : « *Si j'indique cette course, c'est parce qu'il n'y a pas d'autres grottes à portée de Luchon. Or celle-ci n'offre aucun intérêt, aucune curiosité ; je n'engage donc personne à les visiter* » ! (Boubée, 1843). Je n'ai pas retrouvé cette grotte et la description montre que la valeur touristique du site n'était pas réellement activée ; mais la caverne, quelle qu'elle fût, permettait à Luchon de satisfaire une exigence supposée de la clientèle et s'inscrivait ainsi dans la panoplie de sites que la station offrait à ses curistes.

Les grottes constituent donc des éléments du patrimoine paysager que toute station thermale se doit de proposer à la visite, comme dans un cahier des charges implicite. On en a trouvé de multiples exemples dans les Pyrénées (à Bagnères-de-Bigorre, Gauchon, 2000), dans le Vercors (autour de Choranche, Gauchon, 1994), dans le Massif Central (Royat), dans le Jura... Et tel était le cas tout au long du XIX^e siècle à Aix-les-Bains, dont le riche environnement fut largement mis à contribution jusque dans sa dimension souterraine.

I - LES GROTTES AUTOUR D'AIX-LES-BAINS

Quatre grottes ont été associées à l'activité thermale, appartenant aux deux catégories ci-dessus présentées et jouant sur des registres différents. Il s'agit, plus ou moins chronologiquement, de :

- **La grotte des Serpents.** Située au cœur même de la station thermale et sur laquelle nous reviendrons plus longuement ;

- **La grotte Raphaël.** Elle s'ouvre sur la rive ouest du lac du Bourget, juste au nord de l'abbaye de Hautecombe. Plus que d'une vraie caverne, il s'agit plutôt d'un vaste porche qui ne se prolonge que de quelques mètres vers l'intérieur (Photo 1). Mais la grotte pouvait être le but d'une navigation romantique depuis le port d'Aix, ou d'une courte promenade depuis Hautecombe, car c'est assurément, des quatre grottes que nous envisageons ici, celle qui posait le moins de problème d'accès. Associée au souvenir lamartinien qui a été un puissant moteur du tourisme autour d'Aix et du lac, la grotte Raphaël

fut inscrite à l'inventaire des sites le 31 juillet 1935 et reste, aujourd'hui encore, la seule grotte du département de la Savoie à bénéficier d'une protection réglementaire ;

- **La grotte de Banges.** Elle fut sans doute la plus connue des cavernes qui gravitaient autour d'Aix.



Photo 1 - La grotte Raphaël sur la rive ouest du lac du Bourget.

Située sous le couronnement sud du Semnoz, elle est pourtant éloignée d'Aix de plus de 20 kilomètres. Sa visite supposait donc une véritable excursion : « *Les baigneurs d'Aix ont coutume de faire un pèlerinage à cette caverne qui mérite bien l'empressement dont elle est privilégiée* » (Truffey, 1842, p. 257). À l'intérêt de l'incursion souterraine elle-même s'ajoute un arrière-plan légendaire nourri par les publicistes et le récit plus ou moins enjolivé des offices qui y auraient été célébrés pendant la Révolution (Ferraris, 1847, p. 305). En effet, les premières descriptions publiées (Depping, 1812) s'intéressent à la grotte de Banges surtout pour les paillettes d'or qu'elle est censée receler et que divers chercheurs de trésors cherchent à s'approprier.

Peu à peu, cet aspect s'estompe toutefois, et tout au long du XIX^e siècle, les guides touristiques sur Aix n'omettent jamais de mentionner la grotte de Banges (par exemple Fortis, 1829, vol. 2, p. 260-264). Son parcours n'est pourtant guère aisé : « *On découvre bientôt une ouverture étroite appelée la Gueule du Four, où il faut passer, en rampant sur le ventre [sur] huit à dix pieds de long* ».

Au début des années 1870, un certain Marchand, du village voisin d'Allèves, élargit la galerie principale pour en faciliter la visite (Dagand, 1874 ; Photo 2). Dans les années qui suivirent, la visite de la grotte était comprise dans un forfait d'excursion au Semnoz proposée aux curistes trois fois par semaine (*La Gazette des Eaux*, n° 1184, 8 septembre 1881, p. 283-284). D'après le comte de Loche (vol. 2, p. 165-166), la reine Victoria elle-même aurait inscrit les grottes de Banges à son programme d'excursions en 1885. La visite était donc prisée depuis bien longtemps, et elle fut encore plus prisée lorsque fut construit en 1887 le pont de l'Abîme sur le Chéran ; la grotte est alors inscrite dans des circuits qui franchissent cet ouvrage spectaculaire, et elle est systématiquement décrite dans les guides, au moins jusqu'à la veille de la première guerre mondiale. Toutefois, les descriptions deviennent moins élogieuses au tournant du siècle (par exemple H. Ferrand, 1907, p. 43) ;

- **La grotte des Fées.** Elle est perchée en haut de la montagne de Corsuet, au-dessus de Saint-Innocent. Dès 1867, la *Gazette des Eaux* a consacré un écho aux fouilles archéologiques menées dans la grotte par le baron Despine, médecin à Aix et l'un des plus éminents notables de la station, qui y a découvert des tuiles romaines (n° 472, 11 avril, p. 117) et qui en a fait état devant l'Académie de Savoie (A.A., 1869, p. XIX-XX). En 1883, la même revue évoque à nouveau la grotte : « *La course de la Grotte des Fées est une des plus ravissantes que l'on puisse faire dans les environs d'Aix-les-Bains et des moins fatigantes* », et des moins dangereuses puisque « *la section du Club Alpin d'Aix a fait faire tout récemment un sentier en lacets, taillé en partie dans le roc, et bordé d'une solide balustrade en fer* » (n° 1298, 15 novembre, p. 355). À l'époque,



Photo 2 - Dans la grotte de Banges, le secteur élargi pour faciliter les visites.

l'idée est même de poursuivre la désobstruction de la grotte « *et de faire connaître les salles mystérieuses que la montagne cache encore dans ses flancs* »... et qui, au jour d'aujourd'hui, n'ont toujours pas été découvertes. L'année suivante, on apprend que la section du C.A.F. d'Aix a fait l'acquisition de la grotte des Fées « *moyennant la somme de 1000 francs* » (n° 1395, 7 août 1884, p. 243-244). On observe ici la convergence entre l'exploration, l'investigation archéologique et le souci de rehausser une attraction touristique somme toute modeste.

La grotte des Fées valait donc surtout pour le point de vue qu'elle offrait sur le lac du Bourget ; quant à la galerie elle-même, elle ne se développe que sur environ 35 mètres de longueur (Durand et Nant, 1998, p. 44), et ne présente pas de paysages souterrains très remarquables.

La valeur d'usage et la valeur patrimoniale affectées à ces quatre cavernes sont donc variables, de même que les liens avec la station d'Aix-les-Bains. Certes toutes les quatre participent, chacune à sa façon, de l'offre touristique proposée aux curistes d'Aix. Mais grâce aux documents d'archives dont nous disposons, la grotte des Serpents est la plus susceptible de nous éclairer sur la valeur patrimoniale, passée et présente, de ces grottes aixoises.

II - LA GROTTES DES SERPENTS

La grotte des Serpents est située au cœur de la station thermale, juste derrière le bâtiment des thermes. Connue depuis la fin du XVIII^e siècle, la première description que nous en possédons est due au Docteur Despine, l'un des plus actifs propagandistes des eaux d'Aix. En 1797, il est descendu dans la grotte qui n'a pas encore vraiment de nom mais qui abrite la « *source de Saint-Paul* ». Bien que l'accès en soit malaisé puisqu'il faut ramper et se laisser descendre le long d'une échelle, il en laisse une description flatteuse : « *Les parois sont couvertes de sulfate de chaux cristallisé en superbes petites aiguilles* ». Toutefois, il ne lui semble pas possible d'y séjourner plus de 35 minutes du fait de la chaleur par trop excessive (Despine, an X, p. 36-38).

Quelques années plus tard, le docteur J.-M. Socquet fournit à son tour une description fort précise de la grotte : il y consacre plus de vingt pages d'un opuscule sur les eaux d'Aix (Socquet, an XI, p. 43-66), ce qui nous indique l'importance qu'avaient acquise ces grottes. La dissertation de Socquet vaut surtout par les hypothèses qu'il émet sur le creusement de la caverne : ses observations, quoique ramassées en 30 minutes, le conduisent à la conclusion que ce sont les vapeurs qui, en se condensant sur les parois, dissolvent progressivement la roche : « *Les bulles de gaz acide carbonique qui se dégagent au travers de ces pores remplis déjà de molécules aqueuses, les agrandissent au point de leur donner la forme d'éponge* » (Photo 3).

La possibilité d'accéder directement à l'eau thermale excite la curiosité des praticiens de la place, et

aussi leurs rivalités. Il s'ensuit une polémique scientifique entre Despine, Socquet et Dacquin, ce dernier étant vexé de ne pas pouvoir entrer dans la grotte (Dacquin, 1808, ch. 3) : arrêté par la chaleur et les vapeurs, il met en doute le récit de Socquet et, mauvais perdant, traite le travail de son prédécesseur de « *note comique* » ! Jusque là, les discussions sur la grotte des Serpents ne portent que sur le terrain scientifique, et n'enflamment que les libelles... mais il n'en sera pas toujours ainsi.

Une génération plus tard, le fils du docteur Despine visite à son tour la « *grotte des serpents* » en juillet 1837. La grotte n'est pas aménagée et il faut encore se munir d'échelles pour descendre dans le puits d'enfer ; mais les neuf visiteurs restent 55 minutes dans la grotte « *sans être trop fatigués* » (Despine fils, 1837, p. 12). Deux doucheurs sont associés à la petite caravane, et l'un d'entre eux, Favrin, avait déjà réussi, lors d'une précédente visite, en janvier 1835, à franchir une voûte mouillante et à se faufiler jusqu'à une sorte d'îlot.

Dans les toutes dernières années de la monarchie sarde, l'activité thermale à Aix connaît une croissance rapide, qui s'amplifiera encore après 1860 et le rattachement de la Savoie à la France. Dans ce contexte, l'administration des thermes cherche à accroître le volume d'eau thermale susceptible d'alimenter les bains et les douches, et se lance dans des travaux d'adduction toujours plus importants. Comme l'indique le « *Rapport sur un projet d'amélioration des bains d'Aix* » du 15 septembre 1854, adressé par l'ingénieur en chef des mines Pellegrini à Cavour, ministre des



Photo 3 - La salle principale de la grotte des Serpents, avec ses paysages marqués par la corrosion et l'emboîtement caractéristique des coupoles de plafond (photo S. Jaillet).

finances du royaume de Sardaigne : « Avec l'accroissement de la fréquentation des bains d'Aix, de nouveaux besoins se sont manifestés, en même temps que les différents modes d'administration des eaux se développaient [...] : dès lors, il n'est pas possible de penser à améliorer et à étendre les bains d'Aix sans avoir assuré de puissants moyens d'approvisionnement des eaux douces et minérales ». Le 5 novembre 1854, un décret royal, suivi d'un décret d'expropriation du 1^{er} mars 1855, reconnaît l'utilité publique de ces travaux d'adduction, malgré l'opposition déjà avérée à ce moment des époux Mollard-Chevalley. Il s'agit d'une expropriation temporaire, pour la durée de l'ouverture d'une tranchée à travers leur propriété : d'ailleurs, les travaux se feront en souterrain, et il ne sera pas nécessaire d'ouvrir une tranchée. Logiquement, les parcelles expropriées sont désignées par leurs numéros sur la mappe sarde : parcelles 367, 369, 376 et 385. Dans les mois qui suivent, deux tunnels sont creusés : l'un qui descend depuis la rue jusqu'à la grotte des Serpents ; l'autre, long de 84,20 mètres (Photo 4), qui va directement chercher l'eau thermale à son point de sortie, tel qu'il a été reconnu au fond de la grotte. C'est autour de cette grotte et de la source Alun qu'elle abrite que va se nouer le litige foncier ; au-delà des aspects purement juridiques, ce litige permet de saisir au vif les différents enjeux au cœur desquels se retrouvaient alors ces grottes.



Photo 4 - Le grand tunnel d'adduction creusé en 1855 par l'administration des bains d'Aix (Photo S. Jaillet).

III - L'« AFFAIRE » DE LA GROTTE DES SERPENTS

Les Archives départementales de la Savoie ont récemment inventorié et catalogué un fonds d'archives judiciaires resté jusqu'ici inexploité : les archives du Sénat de Chambéry. Au-delà de leur intérêt historique indéniable, ces archives recoupent de façon inattendue la question du patrimoine thermal. Deux épais dossiers (6 FS 2 1122 et 1123) regroupant près de 400 feuillets, retracent en effet un contentieux qui opposa dans les années 1850 la famille Chevalley-Mollard aux thermes d'Aix-les-Bains. Les dossiers contiennent plusieurs dizaines de pièces, certaines de pure procédure, les autres constituant de précieux témoignages sur l'activité thermale.

L'affaire des grottes se noua dans la nuit du 4 août 1856, lorsqu'au petit matin, l'intendant Dupraz constata « l'existence d'une brèche fraîchement ouverte à la voûte de la grotte des sources, dans la partie qui est près de la porte conduisant au chemin de Pugny, sur la propriété de mademoiselle Mollard ». Il fut rapidement établi que c'était Jean Perroud, le jardinier des Mollard qui avait ainsi rétabli un accès « sauvage » à la grotte des Serpents, sûr du bon droit de ses patrons à accéder comme ils le souhaitaient à la grotte qui se trouvait sous le parc de leur demeure.

En effet, lorsque la force publique vient constater les dégâts, le commissaire du gouvernement étant

accompagné d'un officier et de deux carabiniers, « M. l'avocat Benoît Mollard accompagné de son frère Jean-Marie a intimé au soussigné et à tous ceux qui l'accompagnaient de faire aucun travail à la voûte en question en menaçant de détruire les travaux aussitôt que la force armée ne prêterait plus son assistance, en ajoutant qu'il allait faire d'autres ouvertures pour pénétrer dans la grotte des Serpens ».

Sur cette question, la loi sarde était identique à la loi française. L'article 458 du code civil en vigueur depuis 1837 stipulait en effet : « La propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous » (rédaction en tous points identique à celle de l'article 552 du code civil français). Cette propriété s'étend aux sources : « Celui qui a une source dans son fonds peut en user à sa volonté » (art. 555), de telle sorte que la famille Chevalley-Mollard était effectivement propriétaire de la source Alun. Or la loi est claire « La propriété est le droit de jouir et disposer des choses de la manière la plus absolue » (art. 439). Et les différents plans établissent que la source et qu'un tiers environ de la grotte des serpents se trouvent effectivement sous la propriété des Chevalley. Benoît Mollard, conseiller à la cour de Gênes, connaît bien ses droits, et les défend pied à pied lorsqu'il comparaît le 24 août devant le juge délégué (6 FS 2 1122, feuillets 79 à 81), puis dans un

long mémoire remis le 16 septembre (idem, feuillets 124 à 128). Car, à partir de cette date du 4 août 1856, le dossier conservé aux archives nous renseigne sur le procès des grottes d'Aix ; mais la lecture des différentes pièces indique aussi que le contentieux préexistait à cet épisode, et les rancoeurs accumulées depuis plusieurs mois expliquent la véhémence des différentes parties et les argumentaires nourris qu'elles vont échanger : on est d'ailleurs étonné par le nombre et par le volume des dossiers constitués lors de cette affaire.

D'autres intérêts viennent en effet grossir le contentieux : on apprend par exemple que les propriétaires du terrain organisaient des visites proto-touristiques gratuites et informelles et c'est dans ce but qu'ils avaient fait construire l'escalier d'accès. B. Mollard rappelle ainsi, dans un mémoire remis au juge le 12 septembre 1856, les « *usages publics et notoires des grottes souterraines, notamment de celle des Serpents et de la grotte Chevalley et même de la galerie nouvellement construite sur l'embranchement du chemin de Mouxy (...) et spécialement la construction par le père de Mme Mollard de l'ancien tunel (sic) qui formait le seul passage pour aboutir à la grotte des serpents* » (6 FS 2 1123, feuillet 35). Cette phrase pose d'ailleurs un problème de toponymie car nous ne savons pas très bien ce que recouvre la distinction entre la grotte des Serpents et la grotte Chevalley. Mais l'on comprend que l'aménagement effectué devait épargner aux visiteurs les difficultés qu'avaient rencontrées les premiers explorateurs. Dès lors, il était en théorie possible d'associer à la cure thermique des bains de vapeur, comme l'avait jadis pressenti Socquet. Mais à partir de 1855, l'administration des thermes contourne l'accès par le chemin de Mouxy ; la galerie d'adduction récemment creusée est utilisée pour une véritable mise en tourisme, contre monnaie sonnante et trébuchante, d'où un premier motif de plainte pour la famille Chevalley qui s'estime lésée dans ses droits de propriété.

En effet, dans un mémoire qu'elle remet à l'avocat fiscal le 14 août 1856, Mme Chevalley épouse Mollard rappelle d'abord qu'elle possède dans sa propriété « *des sources thermales très abondantes & des grottes magnifiques, les unes naturelles & anciennes, les autres pratiquées tout récemment dans le roc vierge. Elle a conséquemment le droit évident de disposer des sources désignées, à son profit exclusif & à sa volonté ; de visiter, soit par elle-même, soit par les siens, ou toutes autres personnes, les grottes mentionnées (...)* » (6 FS 2 1123, feuillet 1). Elle ajoute un peu plus loin qu'« *elle visitait fréquemment cette grotte dans sa partie praticable* ».

Or Mme Chevalley reproche à Dupraz, l'intendant des thermes, d'« *avoir converti les sources et les grottes de l'Exposante en un véritable théâtre de curiosité, où il donne des fêtes publiques où l'on est admis moyennant une carte dûment signée & contrôlée tarifée à f 0,50 qu'il perçoit & fait percevoir ; que l'Exposante, ne pouvant croire à une telle énormité, fit*

demander elle-même un de ces billets, qui lui fut délivré moyennant la rançon ou concussion de f 0,50 ce qui la détermina incontinent à faire ouvrir la communication qu'elle avait pratiquée librement l'année dernière, au lieu d'user de ce singulier billet qui aurait pu compromettre ses droits de possession » (6 FS 2 1123, feuillet 5). Dans son mémoire du 24 août 1856, M. Mollard accuse encore Dupraz « *d'avoir fait de la propriété de Mme une espèce de théâtre de curiosité où pour être admis il fallait payer tantôt 0,50, tantôt un franc, tantôt 2, rançon que le S^r Dupraz a fait payer au soussigné lui-même suivant Billet d'admission ici déposé* » (idem, feuillet 36). Il s'agit là d'intéressants et rares témoignages sur le tourisme souterrain dans une station thermique au milieu du XIX^e siècle.

Pour être complet sur ce point, il faut préciser que l'abaissement du niveau de la source thermal, suite au percement du tunnel, a fortement transformé l'aspect des grottes : la salle principale est plus vaste, on peut la visiter à pied sec et l'admirer plus confortablement. Mme Chevalley omet de signaler que ce sont quand même les travaux incriminés qui permettent de transformer les grottes en véritables sites touristiques (v. plan in Schneider, 1934, p. 263) et, plus tard, d'y donner des concerts (ordinaire, 1875, p. 8).

D'autre part, le jardinier des Chevalley-Mollard « *disposait chaque année des vapeurs desdites eaux en les conduisant dans des bâches établies dans ses jardins, & que par ce moyen, au grand étonnement du public et même de quelques magistrats, il obtenait des asperges et autres légumes dans le mois de janvier* » (6 FS 2 1123, feuillet 2 verso), ce qui lui assurait à la fois fierté et complément de revenu, d'où un autre conflit d'intérêt dès lors que les thermes fermèrent hermétiquement l'accès aux grottes. C'est donc l'accès des propriétaires aux grottes qui est remis en cause, ainsi que les différents revenus afférents !

Mais la circulation thermique elle-même a été modifiée par les travaux d'adduction. En effet, et le mémoire de Mme Chevalley le signale bien, la grotte des Serpents s'est trouvée asséchée par le creusement du grand tunnel, ce qui constituait également une spoliation manifeste : « *l'exposante a été privée des vapeurs qu'elle utilisait & qui chauffaient & fertilisaient son terrain* » (6 FS 2 1123, feuillet 4).

L'affaire est donc révélatrice de la façon dont les thermes s'assurent de l'accès à la ressource et de son contrôle, à la fois sur le plan strict de l'eau thermique et sur le plan des aménités offertes par la station. Il est évident que, dans cette affaire, les thermes auront eu le souci de l'hygiène, mais aussi sans doute de l'exclusivité de l'accès à la ressource. L'intendant Dupraz qui dépose la plainte s'exprime clairement sur ce point : « *Par cette brèche, l'accès étant ouvert de cette propriété aux sources, aucune sécurité n'existe plus pour celles-ci ni pour leurs canaux, si ce n'est par le moyen très dispendieux de gardiens veillant nuit et jour* ».

IV - LES PLANS DES GROTTES

Au-delà de cette valeur informationnelle, les dossiers conservés aux archives recèlent également de magnifiques plans colorés dressés par des géomètres en 1856-1857 pour appuyer les arguments des deux parties : même s'il ne s'agit pas des plus anciens plans de grottes connus, ceux-ci sont d'une précision et d'un rendu étonnants. En effet, il était alors de coutume, lors de l'instruction d'une affaire judiciaire, de mander un géomètre expert qui dressait un plan des lieux. Ces plans eux-mêmes ont donc une véritable valeur patrimoniale.

Dans sa description de 1837, Despine avait publié plusieurs croquis montrant la grotte des Serpents en plan et en section. Ces croquis sont précieux car ils témoignent de l'état de la grotte et des conditions de visite avant le creusement du tunnel, et donc des modifications que les travaux de 1855 avaient entraînées à travers l'abaissement du niveau de l'eau. En 1837 en effet, la cavité apparaît très confinée, on y circule à peine debout, du moins en hautes eaux (plans et coupes de la Figure 1).

L'argumentaire développé par les Chevalley-Mollard oblige l'accusation à pousser plus avant les investigations et, dès le lendemain, l'avocat fiscal a tôt fait de prendre ses réquisitions : « *Qu'il soit constaté par une expertise que le tunnel actuel, dont la voûte a*

été rompue par M. Mollard, a été construit dans l'ensemble de sa longueur et direction suivant les indications que lesdits plans et devis donnaient à la petite galerie qui, de la salle de captage, devait arriver au chemin du trou de l'enfer » (6 FS 2 1122, feuillets 83 et 84). Les plans en question datent du 15 septembre 1854 et une copie se trouve annexée au dossier (6 FS 2 1122, Figure 2).

En l'occurrence, dans son rapport en date du 9 août 1856, Jean-Marius Suarez, « *juge d'instruction près le tribunal de la province de Savoie-propre* », après avoir récapitulé les faits portés à sa connaissance, prend les mesures qui s'imposent : « *Nous avons chargé l'architecte Pellegrini de dresser le plan des lieux* » (6 FS 2 1122, feuillet 63). Bernard Pellegrini, natif de Yenne et alors âgé de 36 ans, s'exécute aussitôt et, pour la somme de 40 francs, fournit un plan et une coupe partiels « *dont il a affirmé sous serment l'exactitude* » (idem, feuillet 66). Cette pièce figure évidemment au dossier (6 FS 2 1122, et ici Figure 3). Pellegrini a œuvré avec diligence et pour un prix modique : en comparaison, la réparation des dommages causés à la voûte s'est élevée à 50 francs. Mais la précipitation se révélera bien dommageable à la conduite de l'instruction car le plan ainsi levé reproduit une erreur précédente.

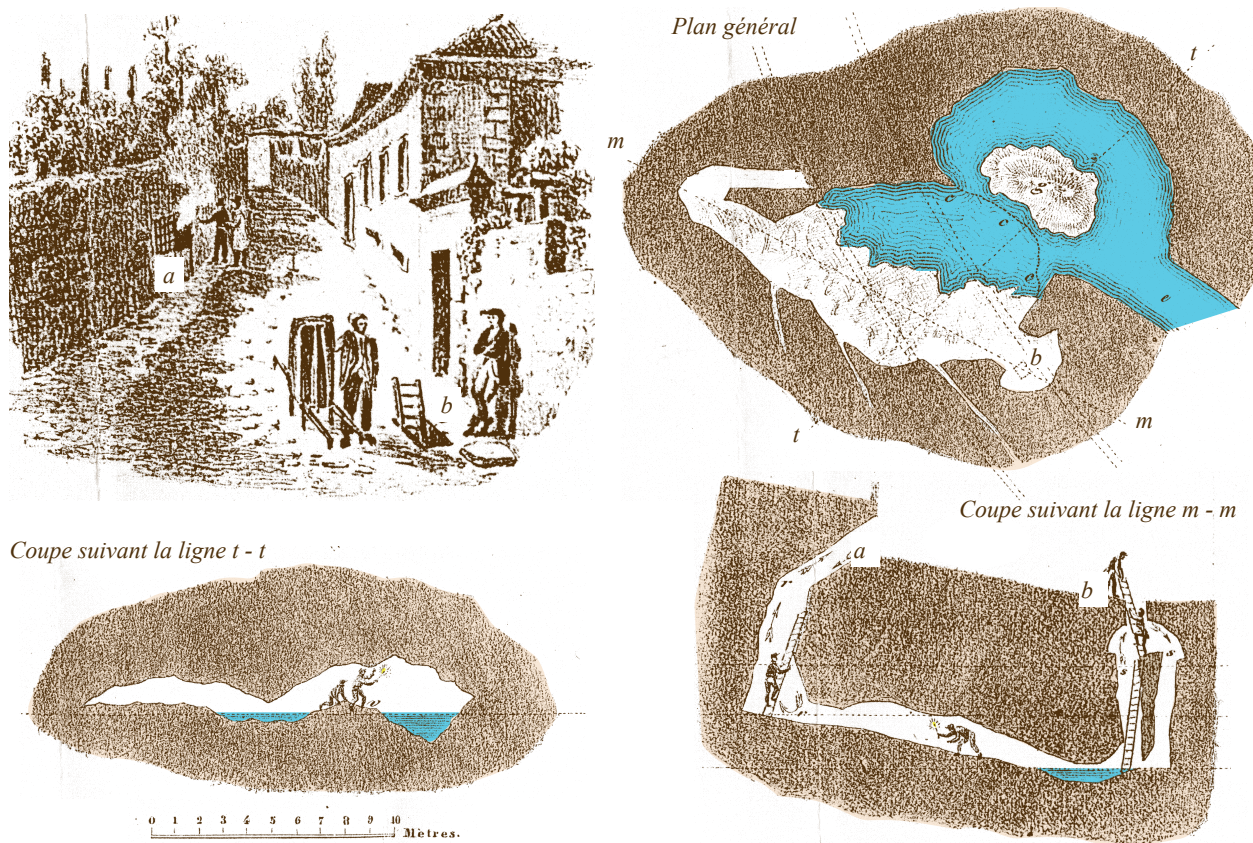


Figure 1 - Dessin et plans qui accompagnent la description de Despine fils en 1837. Sur la vue du chemin, on voit bien les différents orifices par lesquels on entrait et on sortait de la grotte (a et b). Le « puits d'enfer » correspond au point b (les points ont été renommés et l'image colorée pour une meilleure lisibilité, la légende a été supprimée).

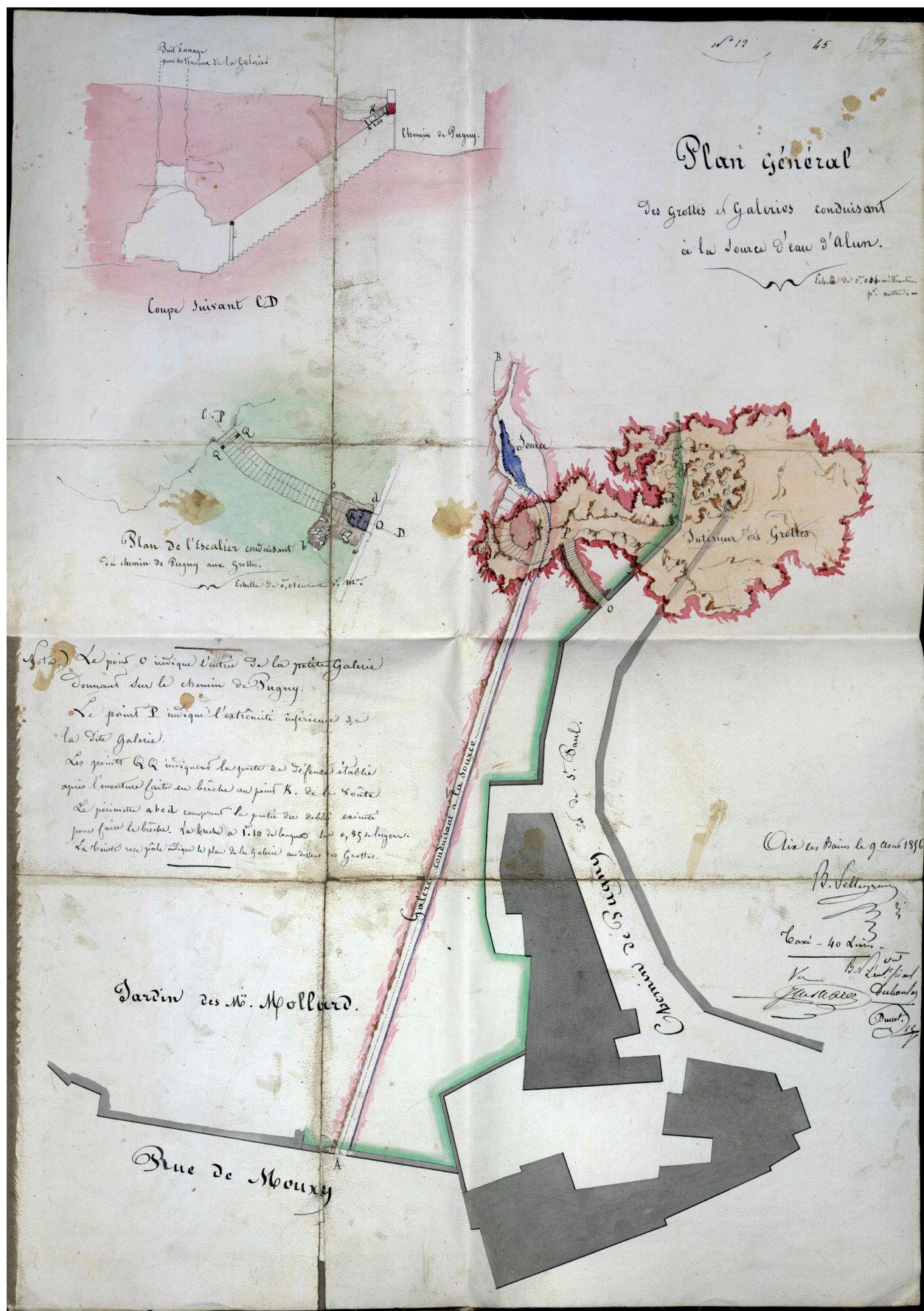


Figure 2 - Plan de Pellegrini du 15 septembre 1854, préalable aux travaux ; il s'agit ici d'une copie du 9 août 1856 réalisée pour l'instruction du procès (Archives départementales de la Savoie, Sénat, 6FS 1122-277).

Le 1^{er} septembre, le juge reçoit donc plusieurs témoins et se livre à une véritable enquête topographique et toponymique, de façon à restituer la disposition des lieux avant le creusement des différents tunnels : la question étant de savoir si le tunnel d'accès à la grotte a bien obstrué l'ancien trou par lequel descendaient les visiteurs. L'architecte Pellegrini doit confesser une erreur odonymique sur le plan du mois d'août, ce qui embrouille encore plus l'affaire (6 FS 2 1122, feuillet 88 verso) : il a en effet confondu le

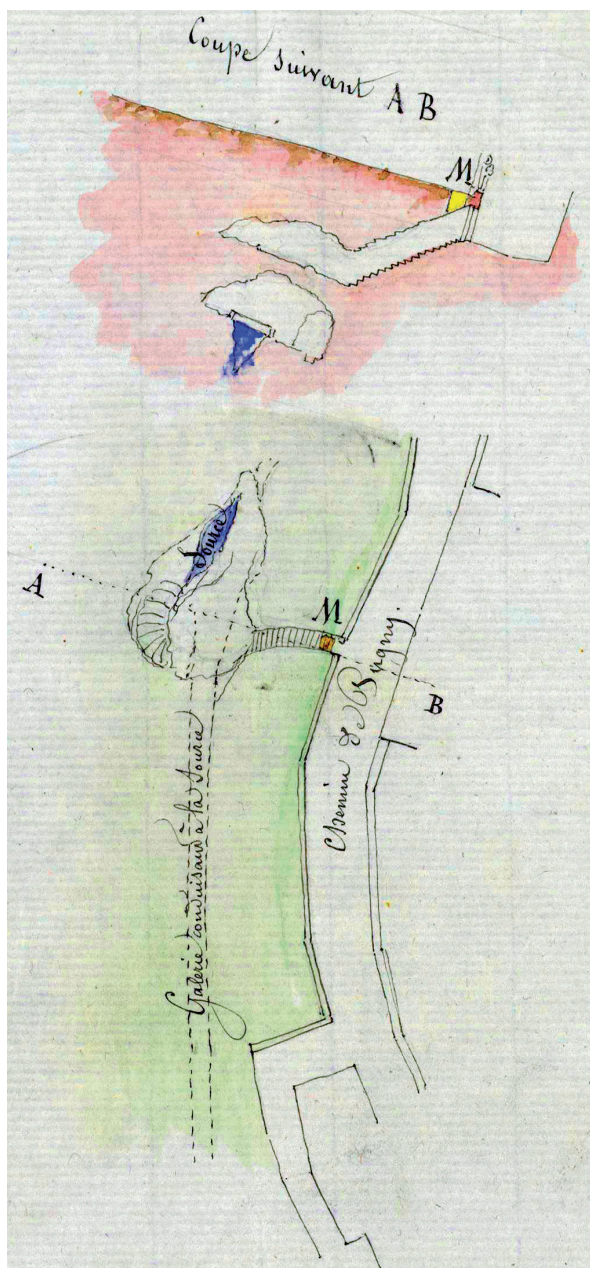


Figure 3 - Plan partiel non daté, non signé, établi par Pellegrini en août 1856 : on repère en M la brèche ouverte à la voûte. La grotte des Serpents est complètement occultée, l'escalier semble ne mener qu'à la source ! Le chemin du puits d'enfer est appelé ici « chemin de Pugny », ce qui ouvrira la voie aux contestations ultérieures des Mollard-Chevalley (Archives départementales de la Savoie, Sénat, 6FS 1122-057).

chemin de Pugny et le chemin du Puits d'Enfer. Pellegrini s'étant dédit de sa mission d'expertise, le juge la confie à Denarié, un autre architecte. Dès le 6 septembre, Denarié remet sa contre-expertise, accompagné d'un nouveau plan sur lequel il a indiqué le tracé réel des deux tunnels, montrant ainsi que l'entrée de la grotte dans la rue du puits d'Enfer est « dix mètres vingt centimètres plus rapproché de l'établissement actuel des bains » que ce qui était prévu sur les plans initiaux (Figure 4).

Le 14 février 1857, la cour d'appel ordonne une nouvelle expertise indépendante ; le 3 avril, l'ingénieur Colly, expert désigné, se rend sur place, puis il « réitère plusieurs fois [son] transport sur les lieux », et rend ses avis le 27 juillet. Le rapport qui accompagne le plan (Figure 5) se veut d'une précision suffisante pour lever toutes les interrogations, et il nous donne beaucoup de détails complémentaires sur l'état des lieux. D'emblée, l'expert remarque que les travaux effectués divergent assez nettement de ceux qui avaient été projetés dès 1854. Il établit également qu'en effet « la grotte dite des Serpents, où se trouvaient jadis les eaux d'alun, est complètement vide » à la suite des travaux d'adduction menés par les thermes : selon son estimation, le niveau d'eau a ainsi baissé de 4,36 mètres (Schneider, 1934, évalue cet abaissement à 8 mètres). Mais une fois les erreurs de ses prédécesseurs rectifiées, il relève aussi que les travaux ayant été effectués en souterrain et non pas au moyen d'une tranchée ouverte, les propriétaires n'ont pas été lésés par les manquements aux plans initiaux. Le plan de juillet 1857 est assurément le plus complet, et il doit être considéré comme un jalon important dans l'histoire de la topographie souterraine.

En l'absence de plans de grottes contemporains comparables à ceux-ci, il est difficile d'apprécier les procédés topographiques utilisés. On est toutefois impressionné par le rendu des dessins qui sont conservés au dossier : dès la première version (Figure 2), le topographe s'est efforcé de rendre l'aspect particulier du rocher, surtout dans la partie centrale du plancher complètement perforé par les eaux très agressives issues de l'aquifère thermal. Cette topographie illustre parfaitement les idées développées 50 ans avant par Socquet quant à la genèse de la caverne. Si le géomètre a souhaité restituer une image aussi fidèle que possible de la grotte, alors il faut penser que les aménagements que nous y voyons aujourd'hui n'existaient pas encore : le petit abri en pierres et le banc accolé au rocher auraient alors été installés ultérieurement. Toutefois, on a vu que ces plans n'étaient pas exempts d'erreurs, car probablement les opérateurs n'avaient guère l'habitude de travailler dans ces conditions. A preuve, le 30 septembre 1856, la section d'accusation de la cour d'appel indique dans son réquisitoire « que l'on doit d'ailleurs considérer qu'il s'agit de travaux souterrains dont la précision mathématique est difficile à obtenir dans le cours de l'exécution » (6 FS 2 1122, feuillet 133).

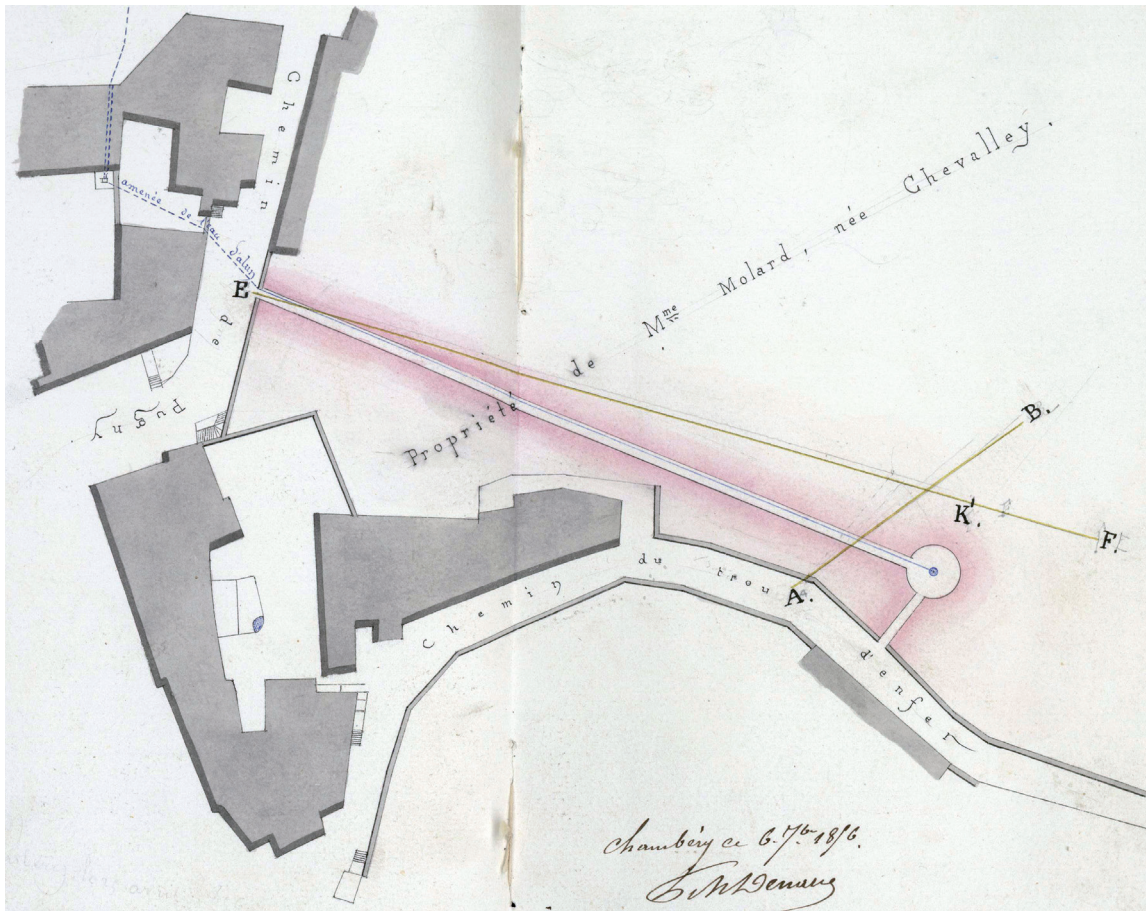


Figure 4 - Plan de Dénarié montrant la déviation entre les plans initiaux et le réalisé des travaux, 6 septembre 1856 (Archives départementales de la Savoie, Sénat, 6FS 1122-277).

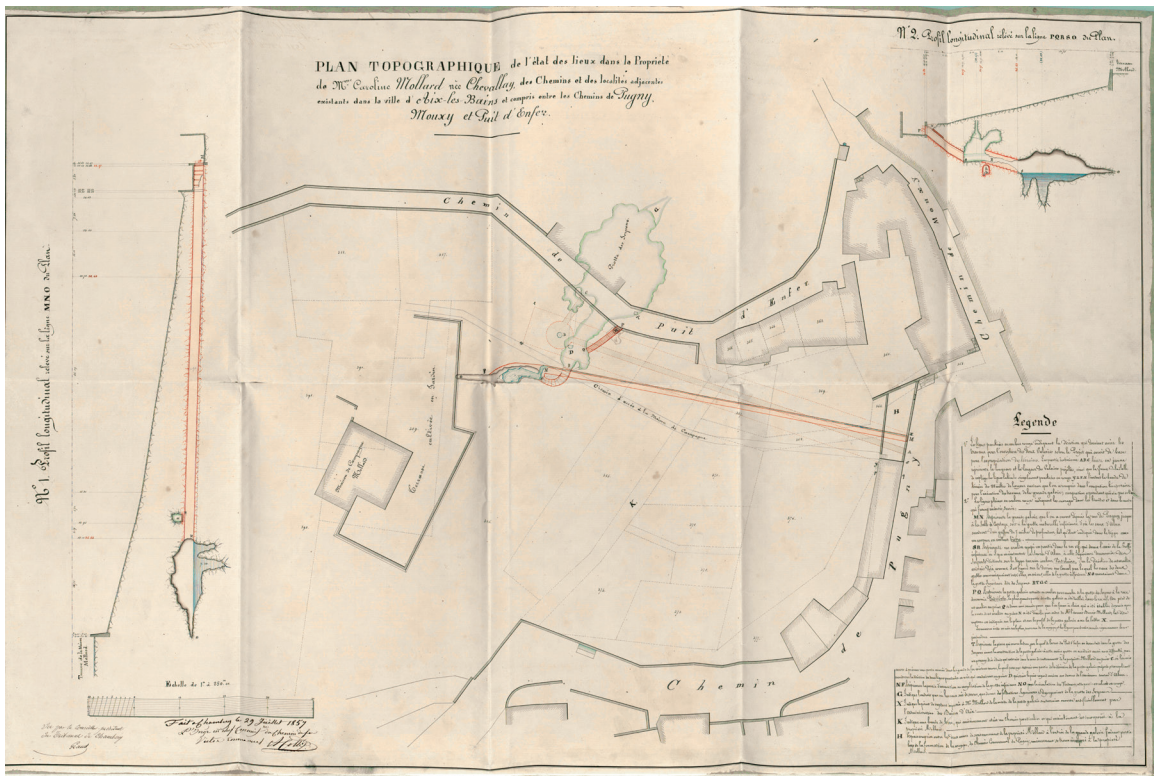


Figure 5 - Plan de synthèse du 29 juillet 1857, avec les corrections par rapport au plan initial, expertise de l'ingénieur Colly (Archives départementales de la Savoie, Sénat, 6FS 1122-114).

CONCLUSION

Sur le plan judiciaire, comment se termina l'affaire de la grotte des Serpents ? A ce stade, nous n'en savons rien, car il n'a pas été possible de consulter les registres des arrêts rendus par la cour de Chambéry pour la période concernée. La dernière pièce contenue dans le dossier (6 FS 2 1123, feuillets 35-36) est en date du 29 juillet 1857, et il s'agit d'un énième échange entre Benoît Mollard et le Conseiller Président au tribunal de Chambéry, relatif aux détails qu'il convient de faire figurer sur les plans des grottes et des alentours.

A en croire le témoignage du docteur Ordinaire qui écrit vingt ans après, la visite des grottes s'est poursuivie dans les conditions dénoncées par les époux Mollard-Chevalley : « *Chaque semaine, l'administration les fait éclairer à giorno et tout l'éclairage se fait à l'aide de becs de gaz multipliés* » (1875, p. 6) ; les visiteurs entrent par le tunnel et ressortent « *des grottes par un escalier d'une vingtaine de marches établi sous le jardin Mollard* » (idem, p. 7). Tout indique donc que les Mollard-Chevalley n'auront pas obtenu gain de cause, et que les thermes s'étaient bel et bien assurés de l'accès aux grottes et de leur exploitation.

Mais sur le fond, l'intérêt de cette affaire se situe bien au-delà de ce que put être son issue devant les tribunaux. Les questions relatives à ces grottes associées à l'activité thermique se retrouvent en effet à l'interface de plusieurs problématiques, à savoir :

- les modalités de l'exploitation de l'eau en tant que ressource fondamentale pour l'activité thermique ;
- l'organisation des pratiques touristiques et récréatives proposées aux curistes ;
- et au final, la compatibilité ou l'incompatibilité entre ces deux ordres d'exigence, compliquées le cas échéant par le régime d'appropriation de la ressource.

Ces différentes données évoluent en fonction de l'exploration spéléologique (ou ici proto-spéléologique) et de la connaissance des modalités des circulations thermales. Cette affaire, somme toute anecdotique, est donc à l'interface de l'économie thermique *stricto sensu* et de l'économie touristique ; le rôle déclencheur joué ici par le jardinier illustre la transition entre des activités de production tradition-

nelles et l'opportunité nouvelle qu'offre le marché lié au thermalisme. L'enjeu patrimonial constitue donc un élément d'arbitrage entre ces différents impératifs. La grotte peut être constituée aussi bien en tant que ressource touristique ou en tant que patrimoine pour figer une situation ; dans le même temps, le conflit peut produire des documents à haute valeur patrimoniale, tels les plans conservés aux archives départementales.

Bien sûr, on peut ici solliciter la distinction classique entre petites stations thermales et villes d'eaux : à Choranche (Vercors), aux Eaux-Chaudes (Haut Béarn) ou à Capvern (Bigorre), les attractions sont rares, les stations sont trop modestes pour offrir une vie mondaine très riche et les têtes couronnées ne viennent pas en grand nombre ; les grottes jouent alors un rôle important, et parfois même décisif, dans l'offre de loisirs aux curistes. Au contraire, dans une grande ville d'eaux comme Aix-les-Bains, capitale diplomatique de l'Europe dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, les estivants ont le choix entre le casino, la salle de bals ou de concerts, les représentations théâtrales, bientôt l'hippodrome ; le lac est là, avec le château de Bourdeau et l'abbaye de Hautecombe et les grottes ne constituent que des attractions secondaires. Il n'empêche que leur possession ou leur usage constituent un enjeu suffisamment important pour faire l'objet d'un long et coûteux contentieux juridique ; et que, grâce à ce conflit, nous pouvons aujourd'hui mieux percevoir le prix alors attaché à ces grottes des Serpents.

Les plans conservés dans les Archives du Sénat de Savoie donnent encore plus de prix à ce patrimoine thermal. Il fallait à la fois les enjeux identifiés autour des grottes, la procédure en vigueur dans les Etats de Savoie, et le soin méticuleux, parfois maniaque, apporté à l'instruction d'une affaire qui peut nous paraître vénielle, pour que ces plans fussent levés et soigneusement archivés, et pour qu'ils nous parviennent. Ces plans confèrent à la grotte des Serpents une valeur historique qui se combine à l'usage des sources d'alun par les thermes et à l'information hydrogéologique qu'elles fournissent sur les circulations thermales (Gallino, 2006), et ils achèvent ainsi de les installer en bonne place parmi les patrimoines qu'Aix doit à son passé thermal.

Remerciements

À Corinne TOWNLEY (Archives départementales de la Savoie) pour nous avoir signalé l'existence de ces dossiers d'archive et nous en avoir facilité l'accès et à Stéphane JAILLET (EDYTEM) pour les photos.

BIBLIOGRAPHIE

- A.A., 1869. *Mémoires de l'Académie impériale de Savoie*, 2nde série, t. X, séance du 14, février 1867, p. XIX-XX.
- BOUBÉE N., 1843. Bains et courses de Luchon. Vrai guide pour les courses et les promenades. Pau, Vignancour, 372 p.
- DACQUIN J., 1808. Des eaux thermales d'Aix dans le département du Mont-Blanc. 2nde éd., 371 p.
- DAGAND J., 1874. La grotte de Banges et ses environs, Impr. Folliet & Ducret, Rumilly, 16 p.
- DESPINE Ch.-H.-A., an X - 1802. Essai sur la topographie médicale d'Aix-en-Savoie (département du Mont-Blanc) et sur ses eaux minérales, présenté à l'école de médecine de Montpellier, le 26 nivôse an X, 118 p.
- DESPINE fils, 1837. Bulletin des eaux d'Aix-en-Savoie. Anneci, impr. d'Aimé Burdet, 3^{ème} année, 27 p.
- DEPPING G. B., 1812. Merveilles et beautés de la nature en France. Paris, Alexis Eymery, 2nde éd. revue et corrigée, 535 p.
- DURAND R. et NANT J., 1998. Atlas des grottes de Savoie. Éd. CDS 73, 216 p.
- FERRAND H., 1907. La Savoie d'Aix-les-Bains à la Vanoise. Grenoble, Ratier & Rey, 124 p.
- FERRARIS A., 1847. Chambéry, Aix-les-Bains, leurs monuments et leurs environs. Chambéry, Puthod.
- FORTIS C^{te} de, 1829. Amélie, ou voyage à Aix-les-Bains et aux environs. Turin, chez Pic, 2 vol.
- GALLINO S., 2006. Le karst du dôme anticlinal d'Aix-les-Bains : nouvelles données sur le panache hydrothermal. *Karstologia*, 48, 29-33.
- GAUCHON C., 1994. Thermalisme et Tourisme en moyenne montagne. Deux stations des Préalpes : Choranche et La Bauche, Villes d'eaux, histoire du thermalisme, Actes du 117^{ème} Congrès National des Sociétés Savantes, Clermont-Ferrand, 26-31 octobre 1992, éd. C.T.H.S., 381-393.
- GAUCHON C., 2000. De Campan à Médous : évocation du tourisme souterrain autour de Bagnères-de-Bigorre. *Bulletin de la Société Ramond*, 135^e année, 161-185.
- LOCHE C^{te} de, 1898-1900. Histoire d'Aix-les-Bains. Chambéry, impr. savoissienne, 2 vol. 678 et 695 p.
- ORDINAIRE Dr., c. 1875. Grottes et sources thermales d'Aix-les-Bains. Aix, impr. Bachet, 8 p.
- SCHNEIDER G., 1934. Le captage des sources thermales d'Aix-les-Bains. *Annales des Mines*, V, 261-279.
- SOCQUET J.-M., an XI - 1803. Analyse des eaux thermales d'Aix (en Savoie), département du Mont-Blanc. Chambéry, impr. Cleaz, 240 p.
- TRUFFEY B., 1842. La grotte et le pèlerin, chronique populaire et La grotte de Benges dans la vallée d'Allèves, Savoie. *L'Allobroge*, 237-240 et 257-262.

LE SOLARIUM TOURNANT DU D^r SAIDMAN

UN COMPLÉMENT À LA CURE THERMALE D'AIX-LES-BAINS

*D^r JEAN SAIDMAN'S REVOLVING SOLARIUM,
A MACHINE TO COMPLEMENT HYDROTHERAPY IN AIX-LES-BAINS.*

CÉCILE RAYNAL ¹, THIERRY LEFEBVRE ²

¹ 9 chemin du Chancelier Séguier, F 78620 l'Étang-la-Ville.
raynal.cecile363@orange.fr

² UFR LAC, secteur « Sciences Médias » Bâtiment Grands Moulins, 16, rue Marguerite Duras, F 75205 Paris cedex 13.
tlefeb@univ-paris-diderot.fr

RÉSUMÉ

Dans les années 1930, médecins et physiciens tentèrent d'appliquer les différentes longueurs d'onde du spectre solaire au traitement de nombreuses maladies cutanées ou osseuses (tuberculose, rachitisme). Le radiologue Jean Saidman fut l'un d'eux. Très inventif, il mit au point une plate-forme orientable (pourvue de dix cabines vitrées) permettant de capter le maximum d'énergie solaire pour traiter ses patients. Ce « Solarium tournant », construit sur les hauteurs d'Aix-les-Bains, complétait les soins donnés aux Thermes Nationaux voisins. Cet article retrace brièvement la vie du D^r Saidman, puis évoque la construction, le fonctionnement et les aléas de la destinée du Solarium tournant.

MOTS-CLÉS : D^r JEAN SAIDMAN, SOLARIUM TOURNANT, AIX-LES-BAINS, THERMALISME, ACTINOTHÉRAPIE, HÉLIOTHÉRAPIE.

ABSTRACT

During the 30's, physicians tried to apply actinotherapy and heliotherapy on cutaneous and tuberculosis diseases. Dr Jean Saidman, expert in the chemical effects of light, was one of them. He realised a new type of solarium: a rotative platform with ten glass-fronted treatment cabins. Built in the French spa community of Aix-les-Bains, it complemented the treatments provided next-door at the National spa. This article presents D^r Saidman, as well as the construction and fate of the revolving Solarium.

KEYWORDS: D^r JEAN SAIDMAN, REVOLVING SOLARIUM, AIX-LES-BAINS, HYDROTHERAPY, ACTINOTHERAPY, HELIOTHERAPY.

INTRODUCTION

À Aix-Les-Bains, au lieu-dit la Roche du Roi, se dressait, jusqu'à la fin des années 1960, l'étrange «*Solarium tournant du D^r Saidman*» (Photo 1). De nombreuses cartes postales perpétuent le souvenir de cette construction mystérieuse, ainsi que la postérité de son inventeur, et tous deux appartiennent désormais à la mythologie de la grande période de la station thermale. Cet article, issu de recherches qui ont

abouti à l'écriture d'un ouvrage à paraître sur l'oeuvre du D^r Saidman, se propose de mettre en lumière la conception et les usages de cet édifice innovant. Conçu à l'origine comme un traitement d'appoint à la cure thermale, le Solarium cherchait à combiner les bienfaits de l'hélio et de l'actinothérapie aux vertus antirhumatismales de l'eau aixoise.

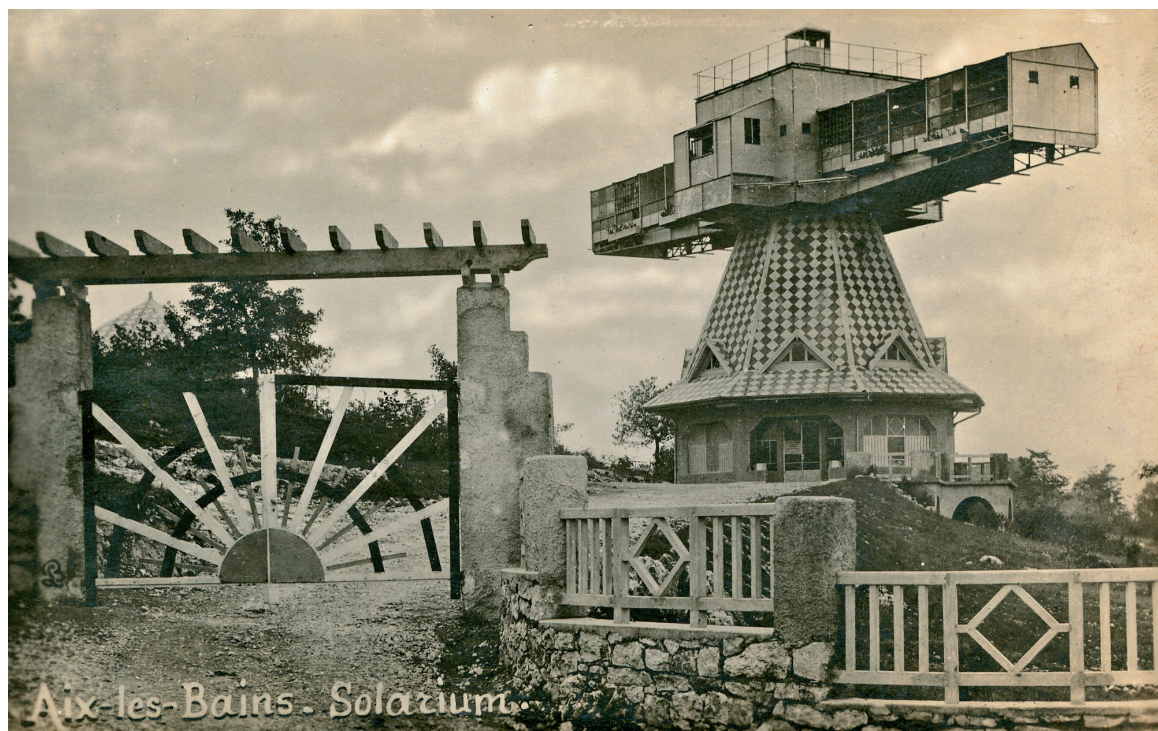


Photo 1 - Le Solarium tournant d'Aix-les-Bains et son portail évoquant le soleil, au lieu-dit La Roche du Roi. Carte postale ancienne, circa 1940. Archives municipales d'Aix-les-Bains.

I - QU'EST-CE QU'UN SOLARIUM ?

Un «*solarium*» est une structure de soins destinée à appliquer les rayons solaires directement sur le corps des malades (tout ou en partie), afin de traiter différentes maladies telles que certaines déformations osseuses (notamment dues au rachitisme infantile) et des formes spécifiques de tuberculose (osseuse, en particulier). Il est en effet reconnu, depuis la plus haute Antiquité, que les «*bains d'air et de lumière*» favorisent l'amélioration de l'état des malades.

Dans le cas de la tuberculose, par exemple, après la découverte du bacille tuberculeux en 1882 par le médecin allemand Robert Koch (1843-1910), plusieurs traitements furent proposés pour détruire le microbe. Mis en culture, le bacille fut notamment soumis à l'action de la lumière et plusieurs études montrèrent qu'il pouvait être détruit *in vitro* par les ultraviolets. Au début du XX^e siècle, les tuberculeux (accueillis dans

des hôpitaux spécialisés baptisés «*sanatoriums*») bénéficièrent de nouvelles thérapeutiques : «*l'aérotérapie*» (ou cure d'air) et «*l'héliothérapie*». Ces nouvelles techniques de soin contraignirent les architectes à changer leurs habitudes et à reformuler leurs propositions traditionnelles. Pour augmenter l'efficacité de l'héliothérapie, par exemple, certains sanatoriums s'équipèrent de zones d'insolation adaptées : simple balcon, galerie de cure et, pour les mieux lotis, «*solarium*».

La conduite de la cure était empirique, mais de nombreux médecins, aidés de physiciens, se spécialisèrent dans l'héliothérapie pour tenter d'en rationaliser la pratique. Le docteur Saidman fut l'un d'eux et ses recherches le conduisirent à inventer de nombreux dispositifs, le plus marquant étant sans conteste le «*Solarium tournant*».

II - JEAN SAIDMAN (1897-1949)



Photo 2 - Le Docteur Jean Saidman. Coll. privée.

Né en 1897 à Falticeni, en Roumanie, Jean Saidman arrive à Paris à l'âge de 14 ans pour y parfaire son éducation. Brillant élève, il réussit le concours d'entrée à la Faculté de médecine de Paris (Photo 2).

Engagé volontaire pendant la Première Guerre mondiale, il poursuit ses études sur les champs de bataille, traînant avec lui une malle bourrée de livres de médecine, et profite de ses rares permissions pour passer ses examens. Son activité au cours des combats lui vaut d'être décoré de la Médaille militaire et de la Croix de guerre avec quatre citations. Le 6 octobre 1919, eu égard aux services rendus à la Nation, il est naturalisé Français. Deux ans plus tard, en 1921, il soutient sa thèse de doctorat en médecine (Saidman, 1921). Diplômé à 24 ans, il est, à cette époque, le plus jeune médecin de France.

Fasciné par les rayons invisibles et leurs bienfaits thérapeutiques, il se spécialise en radiologie et en actinologie, c'est-à-dire dans les traitements médicaux à base d'ultraviolets, d'infrarouges, de rayons X ou d'ondes hertziennes courtes... Il devient «*actinothérapeute*». Cette spécialisation médicale se développe depuis la Première Guerre mondiale pour traiter toutes sortes de maladies. Rappelons qu'à cette époque, les antibiotiques n'existent pas, les habitations manquent cruellement d'hygiène et d'ensoleillement, et la vita-

mine D (synthétisée par l'organisme humain sous l'action des rayons ultraviolets) n'est alors disponible que sous la forme de l'écoeuvante huile de foie de morue. L'arsenal médical pour lutter contre la tuberculose (pulmonaire et osseuse), contre le rachitisme et contre les maladies osseuses ou dermatologiques, est relativement pauvre. La rationalisation de l'usage des ultraviolets (bactéricides et activateurs de fixation calcique) devient donc une préoccupation médicale importante, à laquelle Jean Saidman n'échappe pas.

D'abord assistant d'électroradiologie en hôpital, le jeune médecin s'installe bientôt à son compte, à Paris. Passionné par l'écriture et la recherche médicale, il publie en 1925 un ouvrage de synthèse rassemblant toutes les connaissances sur la question des ultraviolets (Saidman, 1925). Ce livre, qui devient rapidement une référence dans le milieu médical, est très important pour la suite de sa carrière, puisqu'il le lance dans la société parisienne. Le Dr Saidman se fait un nom et une excellente réputation ; il devient, selon l'expression d'une de ses filles, «*la Coqueluche du Tout-Paris*».

Toujours en 1925, il fonde à Paris, avec l'appui de médecins prestigieux, l'Institut d'Actinologie, dont l'objectif principal est d'«*appliquer les nouvelles découvertes dans le domaine des radiations et [de] poursuivre, tant par le traitement des malades que par des recherches scientifiques, la mise au point de l'actinothérapie et les progrès de la polyradiothérapie*» (Journal officiel de la République française, 57^e année, n° 272, 20 novembre 1925). Installé dans un hôtel particulier du XV^e arrondissement, au 6 passage Dombasle, il s'agit d'un centre de traitement et de recherche, spécialisé dans le domaine des ondes (lumineuses ou non) et dirigé par le Dr Saidman. Avec une dizaine de médecins consultants et 750 malades suivis annuellement (rachitisme, tuberculose, eczéma, psoriasis, pelade...), l'Institut d'Actinologie est l'un des dispensaires les plus dynamiques de la capitale.

Dans ce centre, avant de soumettre les malades à un traitement par ultraviolets, Jean Saidman mesure leur sensibilité cutanée aux irradiations. Il met au point, en 1927, un «*test sensitométrique automatique*» qui permet de réaliser simplement cette mesure (Saidman, *Test sensitométrique automatique*, Brevet d'invention n° 648.243, demandé le 2 novembre 1927). L'instrument se présente sous la forme d'un objet métallique comportant 18 perforations de formes géométriques différentes, auto-obturables par un mouvement d'horlogerie. Appliqué sur la peau d'un patient, il permet de déterminer le seuil d'efficacité et de tolérance de l'intensité des irradiations. Cet appareil est l'une de ses premières inventions.

III - UNE INNOVATION MAJEURE : LE SOLARIUM TOURNANT

À côté de la belle aventure collective de l'Institut d'actinologie, le jeune médecin développe un projet personnel. Pour mettre en oeuvre des traitements héliothérapiques rationnels puissants, Saidman émet la théorie suivante : «*Pour que les rayons solaires agissent avec leur maximum d'efficacité, il est nécessaire que la surface à insoler soit normale à leur direction.*» Pour mettre en pratique son hypothèse, il imagine un «*Solarium orientable*» pourvu de «*lits inclinables*», permettant de conserver, pendant toute la durée d'une cure, la perpendicularité des rayons solaires sur la région du corps à traiter, en suivant le déplacement apparent du soleil. Saidman dépose le brevet d'invention du Solarium orientable le 10 août 1929 (Saidman, *Solarium orientable pour héliothérapie et actinothérapie*, brevet d'invention n° 680.179, demandé le 10 août 1929), et le brevet d'invention des lits inclinables le 8 mars 1930 (Saidman, *Lit inclinable*, brevet d'invention n° 691.606, demandé le 8 mars 1930).

Il applique les ondes lumineuses au traitement de certaines maladies osseuses, et notamment aux rhumatismes. Aix-les-Bains, alors réputée et spécialisée dans le traitement de cette pathologie, s'avère l'endroit le plus approprié pour expérimenter son dispositif médical novateur. Au printemps 1929, Jean Saidman prend donc contact avec la Société Médicale d'Aix-les-Bains, garante du bon fonctionnement de la station thermale. À cette époque, le thermalisme d'Aix est en pleine mutation : un concours a été lancé en 1928 pour agrandir et moderniser les thermes vieillissants. Pendant que la ville entreprend de rénover ses installations médicales, le Dr Saidman expose son projet de «*centre héliothérapique*» à la Société Médicale. Celle-ci accueille chaleureusement la proposition et le médecin parisien siège bientôt parmi ses membres.

Le 4 juillet 1929, par l'entremise de l'architecte aixois André Farde, Saidman sollicite auprès de la mairie «*l'autorisation de construire une station héliothérapique orientable au lieu-dit La Roche du Roi*», plateau encore vierge de construction et particulièrement bien ensoleillé. La demande est accompagnée de deux plans, datés du 1^{er} juillet 1929, qui permettent d'apprécier les dimensions prévues pour l'édifice (Farde, archives municipales d'Aix-les-Bains). Le maire d'Aix délivre l'autorisation de bâtir le 18 juillet 1929. Le médecin doit désormais trouver les fonds nécessaires à la réalisation de son projet. Il décide de fonder une société anonyme, qu'il baptise «*Le Solarium d'Aix-les-Bains*». Quelques mois plus tard, le 19 mars 1930, il en dépose les statuts dans l'étude d'un notaire parisien. Parmi les fondateurs se trouvent des personnalités plus ou moins proches de Saidman. Plusieurs médecins aixois, tous membres de

la Société Médicale, prennent également part à cette aventure : les docteurs Louis Blanc, Jacques Forestier, François Gaillard, Louis Duvernay, Marc Chevallier, Joseph Lelong, ainsi que le dentiste Marcel Bouvier.

1 - La construction

Début 1930, Saidman est donc en possession du permis de construire et des financements indispensables. Pour le gros oeuvre, il sollicite une entreprise parisienne, la Société Industrielle de Constructions ; plusieurs sociétés aixoises interviennent également sur le chantier et participent aux finitions. Les travaux débutent vers la mi-avril 1930 et, peu à peu, suivant les plans d'infrastructure dressés par l'ingénieur Pierre Flaix, le Solarium prend forme.

Au départ, sur le plateau calcaire de la Roche du Roi, seule une élégante barrière de ciment indique la présence de la nouvelle propriété. Puis, une plate-forme en ciment armé accueille l'embryon de carcasse métallique (Photo 3) : il s'agit d'un pylône (contenant la cage d'ascenseur centrale), autour duquel s'enroulera, par la suite, un escalier métallique. Cette base est insérée dans un bâtiment octogonal en béton armé de



Photo 3 - Construction du Solarium : le pylône et, au loin, la Dent du Chat. Coll. privée.

11,5 mètres, formant le rez-de-chaussée de l'édifice. Au-dessus de cette première structure, est installée une tour intermédiaire, destinée à supporter les efforts de la plate-forme tournante et composant une sorte de toit. Carcasse d'acier à l'image de la tour Eiffel, cette tourelle pentue, également octogonale, est d'abord recouverte d'une charpente en bois, puis d'élégantes tuiles carrées formant damier. Un chemin de roulement est installé au sommet de la tour tronquée (qui culmine à 16 m au-dessus du sol) pour assurer la rotation de la plate-forme d'insolation. Celle-ci mesure 25 m de longueur sur 6 m de large, et pèse 80 tonnes. Malgré ce poids considérable, l'édifice terminé apparaît léger et aérien, grâce à la forme élancée de la tour intermédiaire et à ses deux « ailes » latérales.

Visité à deux reprises en juin 1930 par des délégations de médecins, le solarium est inauguré officiellement le 26 juillet 1930 sous un soleil radieux. Le Dr Saidman, en blouse blanche selon son habitude, présente son « géant, moitié maison, moitié avion », devant les invités assis sur les bancs d'un petit auditorium aménagé en plein air, dans le jardin du domaine, au pied de sa création (Photo 4).

2 - L'intérieur du Solarium

Les nombreuses cartes postales du Solarium ne représentent que l'extérieur de l'édifice. Par chance,

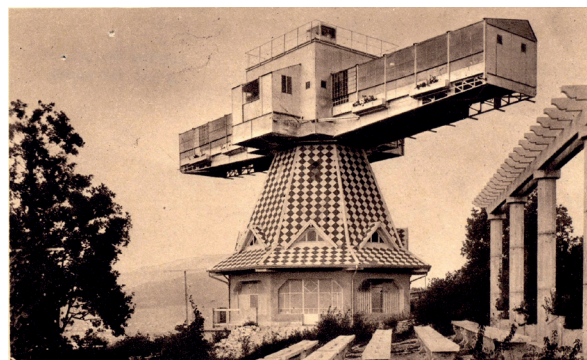


Photo 4 - Le Solarium et l'auditorium de plein air. Carte postale ancienne, circa 1940. Archives municipales d'Aix-les-Bains.

les archives municipales d'Aix conservent quelques clichés inédits de l'intérieur, et les photographies d'une collection privée permettent d'en compléter la visite.

Au rez-de-chaussée, d'immenses baies vitrées (Photo 5), de style Art Déco, éclairent la salle d'attente, le bureau du médecin, une salle de radiologie et l'accès à l'ascenseur. Celui-ci conduit le patient directement à la plate-forme, où il peut accéder aux dix cabines de traitement. Chacune est pourvue de châssis vitrés coulissants (en façade et en toiture). Réalisés en verre argenté, ils sont transparents aux ultraviolets, mais imperméables aux infrarouges (afin d'empêcher



Photo 5 - Baies vitrées situées au rez-de-chaussée du Solarium. Archives municipales d'Aix-les-Bains.

une trop grande élévation de température) et opaques aux rayons visibles (de façon à soustraire les malades à la vue du public). Dans chaque cabine, le patient est installé sur un lit inclinable au-dessus duquel est suspendue une grande lentille de 1,6 m² qui concentre les rayons filtrés sur telle ou telle région du corps (Photo 6). Des lampes à ultraviolets et des lampes à infrarouges complètent le dispositif : elles sont utilisées lorsque le rayonnement solaire est insuffisant. Après avoir procédé à la recherche de la sensibilité cutanée à l'aide du «*test sensitométrique automatique*», le médecin met en place les divers instruments au-dessus de la partie malade à traiter, et laisse le patient exposé aux rayons bienfaisants et calibrés.

Au sommet de l'édifice, en saillie sur la façade et au milieu des deux «*ails*», se trouve le poste central. À l'intérieur, un vaste tableau mural muni d'interrupteurs et de compteurs permet à un technicien de commander à distance toutes les lampes. C'est aussi

depuis cette pièce que la plate-forme est mise en mouvement, «*grâce à la rotation d'une chaîne mue par un moteur électrique, qui consomme une quantité de force minime. En cas de panne d'électricité, un seul homme tournant une manivelle réalise la rotation de l'ensemble*» (Josephson, 1933). Situées de part et d'autre de ce poste de surveillance, une ou deux cabines (selon les époques) sont dédiées à la «*lumière de Wood*» (du nom de son inventeur, l'Américain Robert William Wood, grand ami de Saidman). Cette radiation, plus connue sous le nom de «*lumière noire*», a la particularité de rendre visibles certaines pathologies dermatologiques. Des diagnostics et des expériences de fluorescence y sont régulièrement réalisés.

Le solarium fonctionne de juin à début octobre, période qui correspond à l'ouverture de la station aixoise à cette époque. Les traitements des rhumatismes et des dermatoses qui y sont pratiqués complètent ceux de la cure thermique.



Photo 6 - Dans une cabine, un lit inclinable. Archives municipales d'Aix-les-Bains.

3 - Tentative de transfert du Solarium

Les premières années sont fastes, le Solarium fonctionne très correctement. Une ombre cependant empêche son exploitation maximale : l'établissement est trop éloigné des Thermes et de la ville. Aucun hébergement n'est disponible à proximité, ce qui rebute une partie de la clientèle, malgré la mise en place d'un système de navette. Saidman envisage donc de rapprocher son édifice des établissements de cure, tout en bénéficiant toujours d'une zone d'ensoleillement maximal. Il va tenter de profiter de la reconstruction des Thermes Nationaux d'Aix pour soumettre un nouveau projet.

En ville, la construction du nouvel établissement thermal a débuté depuis deux ans ; elle a été confiée à Roger Pétriaux et ce dernier est assisté par l'architecte André Farde. La Société civile (formée à l'occasion de la modernisation de la station et chargée d'en superviser la réalisation) est constituée de médecins aixois ; la plupart sont également actionnaires de la Société Anonyme du Solarium. Dans ce contexte favorable, en août 1932, Saidman propose à ses confrères d'incorporer le Solarium dans l'établissement thermal encore inachevé. Un plan, au titre évocateur, témoigne de ce projet étonnant (Farde, 1932) (Photo 7).

Il est prévu de démonter le Solarium, puis de l'insérer à l'intérieur d'une des nombreuses courettes internes du nouveau bâtiment thermal, « sans communication avec les étages », de manière à restreindre l'accès à une entrée unique basse. Des mentions manuscrites portées sur le plan indiquent que l'ascenseur, le pylône et les escaliers seront « réemployés », le tout s'emboîtant parfaitement dans l'un des espaces libres des Thermes. La salle d'attente, le bureau et la salle de radiologie devenant

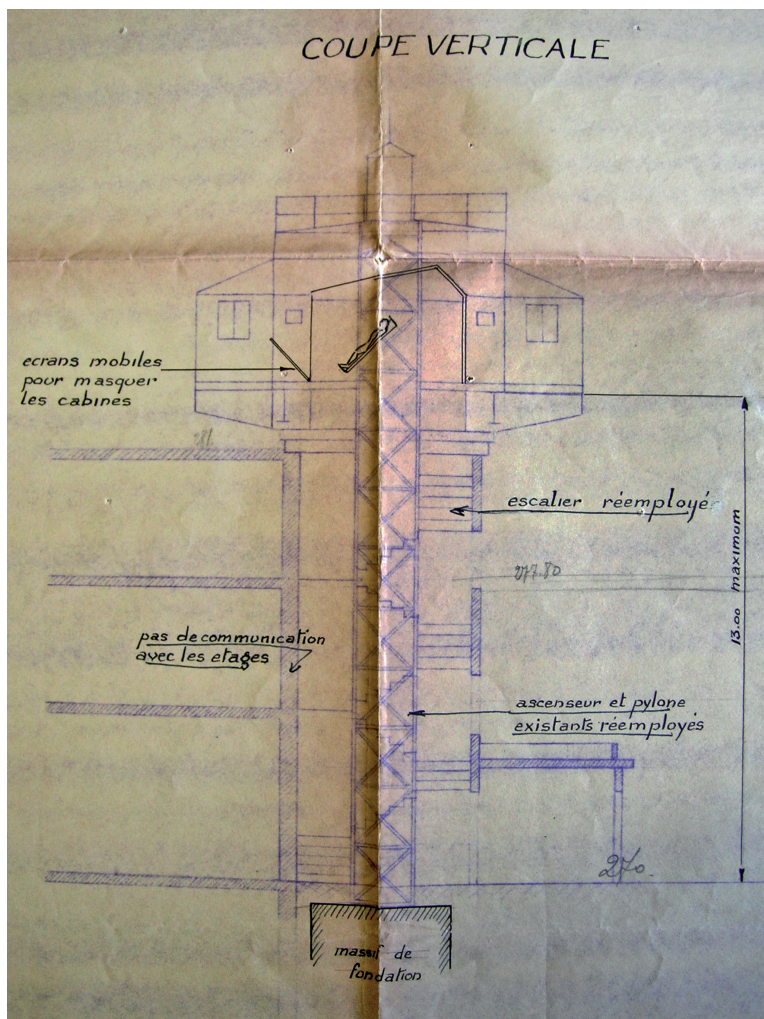


Photo 7 - Détail du plan de déplacement du solarium. Archives municipales d'Aix-les-Bains.

inutiles, le Solarium aurait ainsi été réduit à sa quintessence : ses cabines de soin ; les ailes mobiles, renfermant ces dernières, auraient tourné au ras du toit de l'établissement.

Cette proposition ne sera finalement pas retenue, probablement en raison d'une décision administrative logique : bénéficiant de fonds publics, les Thermes Pétriaux ne pouvaient accepter en leur sein un édifice non agréé par le ministère de la Santé.

IV - DÉCLIN

Le Solarium va donc rester sur le plateau de la Roche du Roi, continuant bon an mal an son activité de soin. Son succès a entraîné la construction de deux autres exemplaires, plus modernes et d'architecture plus massive (la tour à toit losangé y a été supprimée). L'un est élevé en 1934 à Jamnagar, dans l'état indien de Gujarat, à l'initiative du maharadjah Jam Ranjitsinhji (*Ranjit Institute of Poly-Radio Therapy*). Bien qu'endommagé par un ouragan, il existe encore de nos jours, mais ne fonctionne plus. L'autre modèle

(Photo 8), construit également en 1934, est implanté à Vallauris (Alpes-Maritimes), dans le cadre d'un ambitieux complexe sanatorial. Inauguré en février 1935, le Sanatorium hélio-marin de Vallauris-Le-Cannet est une émanation de l'Institut d'Actinologie et le Dr Saidman en est le médecin directeur. Noyé dans la gestion complexe de cet établissement de quelque 300 lits et de son solarium annexé à l'hôpital, bousculé par les conflits sociaux de 1936, Saidman sera contraint d'abandonner la partie en novembre

1937. L'établissement restera à l'abandon jusqu'en 1942, année de son rachat par l'État. L'immense sanatorium est, de nos jours, un centre de rééducation fonctionnelle, mais le solarium a été détruit.

Durant la Seconde Guerre mondiale, victime de l'antisémitisme ambiant, Saidman quitte son domicile parisien pour se réfugier, avec sa famille, à Aix-les-Bains. Pendant toute l'Occupation, le Solarium fonctionne au ralenti, essentiellement pendant la belle saison. Bénéficiant de la protection de la Société Médicale d'Aix, Saidman continue d'exercer son métier de médecin, malgré ses origines juives.

Après la guerre, Saidman reprend ses activités parisiennes. Les temps ont changé, les antibiotiques supplantent désormais l'héliothérapie dans le traitement de la tuberculose et les solariums tombent en désuétude ; la découverte et la fabrication de la vitamine D rendent également obsolète le traitement du rachitisme par la lumière. Mais le Dr Saidman ne manque pas d'imagination et il prévoit de mettre en application de nouveaux traitements découverts à l'occasion de ses séjours en Inde. Il ne pourra malheureusement pas réaliser ses projets : le 6 juillet 1949, un infarctus le terrasse dans son bureau d'Aix-les-Bains, à l'âge de 51 ans.



Photo 8 - Le Solarium de Vallauris. Carte postale ancienne, circa 1940. Coll. privée.

CONCLUSION

Par la suite, sa veuve tentera vainement de maintenir le solarium en activité. Mais il fonctionnera de moins en moins et finira abandonné par manque de moyens. Vandalisé et pillé, les vitres brisées, le solarium dressera sa fantomatique carcasse sur les hauteurs d'Aix au cours des années soixante. La propriété sera finalement vendue à un promoteur immobilier qui détruira le bâtiment en 1967. À cette époque, les ruines (au passé banal ou prestigieux) étaient rasées sans états d'âme et nous n'avons pas trouvé d'article

mentionnant à regret cette disparition. En revanche, de nos jours, quelques personnes, alors adolescentes dans les années cinquante, évoquent avec nostalgie l'imposante silhouette.

Actuellement, au bout du boulevard Guy-de-Maupassant, dans l'enceinte limitée par les clôtures et pergolas d'origine, s'élève une résidence baptisée «Le Solarium». On peut encore y voir le socle de ciment armé, qui forme une sorte de terrasse d'où l'on peut admirer la Dent du Chat...

BIBLIOGRAPHIE

- FARDE A. La station héliothérapique orientable du Dr Saidman. Archives municipales d'Aix-les-Bains.
- FARDE A, 1932. Déplacement du solarium sur l'établissement thermal. Échelle 1/100. 5 août 1932. Archives municipales d'Aix-les-Bains.
- JOSEPHSON J.-O., 1933. Description du solarium d'Aix-les-Bains. *Annales d'Institut d'actinologie*, 8, 1, p. 15-19.

- LEFEBVRE T., RAYNAL C., 2010. Les Solariums tournants du Dr Jean Saidman, Paris, Éditions Glyphe. À paraître au printemps 2010.
- ORY P., 2008. L'Invention du bronzage. Paris, Éd. Complexe.
- SAIDMAN J., 1921. La circulation pulmonaire chez les tuberculeux. Th. Doct. Méd. Paris.
- SAIDMAN J., 1925. Les rayons ultraviolets et associés en thérapeutique. Paris, G. Doin, 600 p.

LA STATION THERMALE ET LES EAUX DE L'ÉCHAILLON À SAINT-JEAN-DE-MAURIENNE SAVOIE

HOT SPRINGS OF L'ÉCHAILLON AND SPA RESORT PROJECTS IN SAINT-JEAN-DE-MAURIENNE

PIERRE GENELETTI ¹ et JEAN ASPORD ²

¹ Société d'Histoire et d'Archéologie de Maurienne.
pierre.geneletti@wanadoo.fr

² Ingénieur EDF

RÉSUMÉ

Les bains de l'Échaillon, à Saint-Jean-de-Maurienne, sont connus depuis le XIV^e siècle. Ils seront utilisés à des fins médicales à partir de 1696. Il y aura de très nombreuses tentatives pour exploiter ces eaux thermales. Toutes échoueront. On espérait pourtant arriver à créer une station thermale qui égalerait ses consœurs de Tarentaise et d'Aix-les-Bains. Les sources thermales sont situées dans une plaine au milieu de laquelle coule l'Arc, rivière connue pour ses débordements. Ces crues et des infiltrations contaminent les sources. Ce problème récurrent et connu depuis que l'on utilise les eaux sera une des causes d'échec des projets. Les nombreuses analyses réalisées confirmeront les qualités des eaux mais ne suffiront pas pour mener à bien les différents projets. La ville renoncera à la station thermale pour ne conserver que des bains, ceux-ci seront remplacés par un centre de rééducation fonctionnelle, qui n'utilisera pas les eaux. Une étude pour une utilisation des propriétés géothermiques des sources sera faite mais restera sans suites. Le centre va être prochainement désaffecté.

MOTS-CLÉS : EAU THERMALE, RADIOTHÉRAPIE, GÉOTHERMIE, STATION THERMALE, DÉVELOPPEMENT TOURISTIQUE.

ABSTRACT

The baths of l'Échaillon in Saint-Jean-de-Maurienne have been known since the 16th century. They were first used for medical purposes in 1696. Many attempts were made to exploit their thermal qualities, without success. They hoped to create a hot springs resort that would equal its sisters of Tarentaise and Aix-Les-Bains. The hot mineral springs are located on a plain traversed by the Arc River; well-known for its tendency to flood. The flooding and ensuing infiltrations regularly contaminate the springs. This recurrent problem which has been known since the beginning is one of the reasons for the failure of the projects. Many analyses have confirmed the quality of the water but have not been enough to carry out the individual projects. The town gave up trying to establish a hot springs resort and kept only the baths. These were eventually replaced by a center for physical rehabilitation, which did not use the water. A study to use the springs' geothermic properties was conducted, with no follow-up. The center will soon close its doors.

KEYWORDS: MINERAL SPRINGS, GEOTHERMIC, SPA RESORT, TOURIST PLANNING.

« Échaillon est un petit hameau de la commune d'Hermillon, coquettement assis au pied de la montagne de ce nom, à dix minutes de Saint-Jean-de-Maurienne. C'est dans une plaine en miniature, entre la montagne, le hameau et la rivière de l'Arc qui l'arrose, que jaillissent des fentes d'un rocher granitique deux sources d'eaux thermales ; un fluide aériforme s'échappe en même temps du rocher et de nombreuses bulles de gaz agitent continuellement l'eau et viennent crever à sa surface » (A.A., 1843 ; Figures 1 à 3).

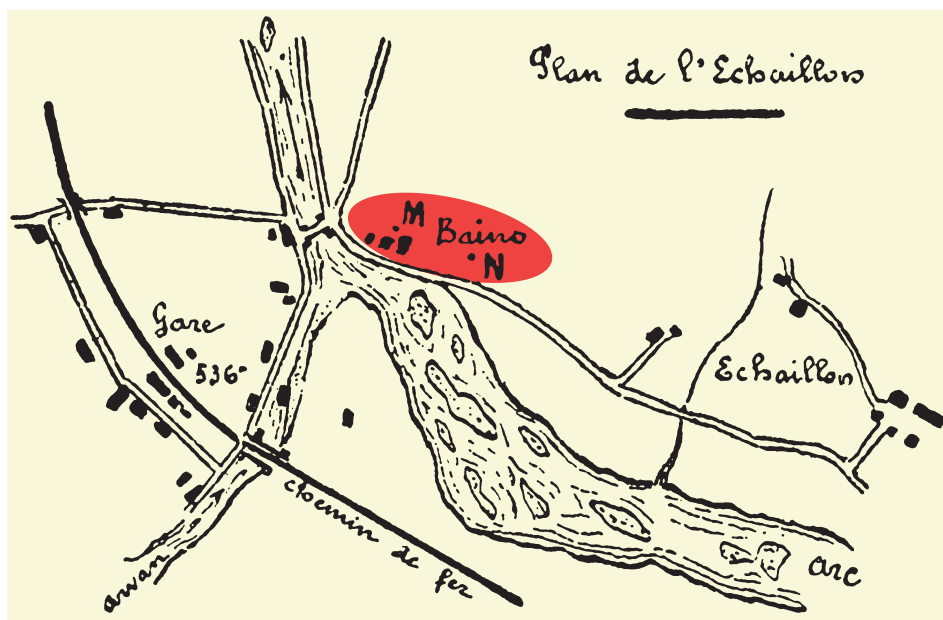


Figure 1 - Plan de localisation de l'Échaillon (Truchet S., 1902). L'emplacement des bains a été souligné de rouge.

I - RAPPEL HISTORIQUE : LES BAINS

« A balneis de Eschallione usque ad balmam de Vilario Clementis » ; Depuis les bains de l'Échaillon (escaliers) jusqu'au rocher de Villard-Clément.

Cette citation extraite d'une charte du 17 juin 1344 prouve que les eaux de l'Échaillon étaient déjà connues et utilisées dans un établissement thermal situé sur la chavannerie de l'Échaillon qui était la propriété du comte de Savoie Amédée VI (Billet et Abrieux, 1861).

La première utilisation thérapeutique des eaux date du XVII^e siècle lorsque, vers l'an 1685, un jeune médecin nommé Dominique Favre, né à Bramans en 1656, vient s'installer à Saint-Jean-de-Maurienne. Dès l'année 1696, il s'intéresse aux eaux de l'Échaillon, analyse les eaux qui sortent à 31-32 °C des deux sources qu'il nomme Caroline et Victoria. Ses travaux et recherches mettent en évidence « les propriétés salutaires de ces eaux », ce qui les fait connaître en Maurienne dans un premier temps puis dans toute la Savoie.

Au début du XVIII^e siècle, on les exporte en Piémont et autres pays éloignés, ce qui permet de constater qu'elles ne sont pas altérées par le transport. Par ordre de la Cour, un médecin du roi, professeur à l'université royale de Turin, M. Fantoni, vient les visiter et en fait des analyses aussi précises que le permettent les moyens de l'époque. Il reconnaît leurs propriétés thérapeutiques et les nomme « Aquae Maurianenses ».

L'eau n'est alors utilisée que sous forme de boisson. L'utilisation en balnéothérapie ne commence qu'en 1740, lorsque Charles-Emmanuel III fait construire à ses frais et pour le service public, un réservoir à différents compartiments pour bains. Cette même année, le roi, qui souffre de lésions cutanées rebelles, sur la foi d'examen réalisés par un professeur à l'université de Turin, le docteur Bianchi, prend avec succès des bains à l'Échaillon.

En 1741, le docteur Borelli réalise une « Dissertation analytique sur les Eaux thermales de l'Échaillon », espèce d'analyse et de traité médical des eaux dans lequel il explique que : « la thermalité des eaux n'est pas due à l'action du feu central mais à l'impulsion que reçoivent les sels composants, qui cause un froissement considérable d'où naît la chaleur de ces liqueurs et surtout lorsqu'ils agissent sur des matières solides et métalliques comme le fer ».

Il donne ensuite des conseils sur la manière d'utiliser les eaux car, « sur une certaine variété de malades, il arrive quand on les prend intérieurement qu'on ne les rend pas ; alors on se sent le ventre enflé, les yeux paraissent bouffis, la tête dans un étourdissement, des lassitudes, des oppressions de poitrine ; il faut alors, sans perdre de temps, saigner et purger les eaux superflues et le sang surchargé ».



Figure 2 - Carte IGN actuelle montrant les bords de l'Échaillon dans leur environnement. La limite entre les communes d'Hermillon et de Saint-Jean-de-Maurienne est soulignée en pointillés rouge ; les deux traits noirs indiquent l'emprise de la photo ci-dessous (Figure 3).



Figure 3 - Le site de l'Échaillon, avec le centre de rééducation fonctionnelle, dans un environnement fortement contraint : l'Arc endiguée, l'autoroute de Maurienne et les voies de la gare de triage s'interposent entre les sources et la ville de Saint-Jean-de-Maurienne.

Chronologie des tentatives malheureuses pour créer un établissement thermal à l'Échaillon

En 1780, l'intendant de Maurienne Jacques-Alexis Vichard de Saint-Réal et les syndics de la ville envoient un placet au roi pour lui signaler le très mauvais état des bains, la faible fiabilité des captages des sources et l'absence de pont sur l'Arc pour se rendre à l'Échaillon. Cet intendant qui a marqué la Maurienne par ses initiatives, avait de grands projets pour l'Échaillon. Il trouvera des ressources pour financer la construction d'un pont, mais sa nomination à Aoste au mois de mai 1789 fera à nouveau tomber les bains de l'Échaillon dans l'oubli.

Pendant la période révolutionnaire, le sous-préfet de Saint-Jean-de-Maurienne, M. Bellemin reprend les idées de l'intendant Vichard de Saint-Réal. Le 3 mai 1809, il écrit au maire de Saint-Jean-de-Maurienne, Jean-François Boch, pour lui demander de faire voter par le conseil une somme de 1200 francs pour rechercher les sources qui ont été recouvertes par un éboulement de terrain, rétablir le bassin des eaux thermales et reconstruire un nouveau pont sur l'Arc, le précédent ayant été brûlé en octobre en 1793 par « l'effet de la guerre ou de la malveillance ». Le conseil municipal refuse car les dépenses urgentes absorbent déjà l'intégralité des faibles ressources de la ville.

En juillet 1816, le chevalier Georges Maximilien Ducol, premier syndic, fait observer au conseil municipal « la nécessité et l'avantage que la ville et même la province retireraient si on était assez heureux pour parvenir au rétablissement des eaux de l'Échaillon ». Malheureusement, des pluies torrentielles détruisent toutes les récoltes, entraînent une disette épouvantable suivie en 1817 par une épidémie de fièvres, reportant à plus tard l'attribution de crédits pour l'Échaillon.

Ces tentatives successives de créer des bains attirent l'attention de la commune d'Hermillon sur laquelle se trouvent les sources. Elle décide d'intenter un procès à la ville de Saint-Jean-de-Maurienne pour récupérer la propriété des territoires de la plaine de Longefan et des eaux thermales. Le litige est tranché le 27 février 1818 par le juge M. de Fernex qui confirme que, bien que situées sur le territoire de la commune d'Hermillon, les eaux thermales et leurs dépendances sont la propriété de la ville de Saint-Jean-de-Maurienne. Le syndic Georges Maximilien Ducol lors de la publication du jugement s'exclame : « Puisque le sol où sont situées les eaux est enfin, sans conteste, la propriété de la ville, elle ne doit rien épargner pour créer un établissement capable de recevoir, avec toutes les commodités possibles, non seulement les habitants de la province, mais les étrangers que la renommée de ces eaux ne tardera pas à attirer ».

Un architecte, M. Gaspard, est convoqué devant le conseil municipal pour y exposer les plans et devis qu'il a établi pour l'Échaillon (Figure 4). Ils comportent des réparations pour les installations anciennes,

l'adjonction d'une cheminée à chacun des cabinets de bains, trois bassins particuliers ou réservoirs en pierres de taille, plusieurs autres bassins à l'usage du public, tous munis de caniveaux et de tuyaux en plomb pour l'écoulement des eaux. Le projet est approuvé début 1819. Au mois de juin, le pont provisoire qui permet de se rendre à l'Échaillon est emporté par l'Arc et le 25 novembre, le conseil municipal constate que les ressources de la ville ne lui permettent plus de construire l'établissement thermal.

Le 17 juillet 1821, le syndic Louis Marie Deschamps annonce au conseil municipal que le Docteur Giobert, professeur de chimie à l'université de Turin viendra au mois d'août en compagnie d'ingénieurs pour étudier les eaux de l'Échaillon (Figure 5). A l'issue de cette visite, il établira un rapport qui sera utilisé pour demander au gouvernement de bien vouloir « concourir à la dépense nécessaire pour faire profiter les étrangers des prodiges journaliers des eaux de l'Échaillon ». M. Giobert conclut ainsi que les sources ont un débit de trois cents bouteilles en trois minutes et trente-quatre secondes, ce qui autorise vingt bains à l'heure. L'odeur de l'eau semble celle de l'eau tiède. Elles sont agitées à leur source par un gaz fort peu miscible, et sans odeur. Elles sont acidules et l'évaporation laisse un résidu salin du poids de 283 grains sur cent onces d'eau pesée froide et filtrée. Les principes qui minéralisent ces eaux sont :

- Acide carbonique libre ;
- Carbonates solubles de chaux, de magnésie, de fer (peu) ;
- Sulphates de soude, de magnésie, de chaux (peu) ;
- Muriates de soude, de chaux (peu), de magnésie (peu).

Les travaux de M. Giobert mettent en évidence la pollution des eaux par la rivière d'Arc voisine. Les conseillers municipaux considèrent à juste titre qu'il est primordial de commencer par empêcher que les

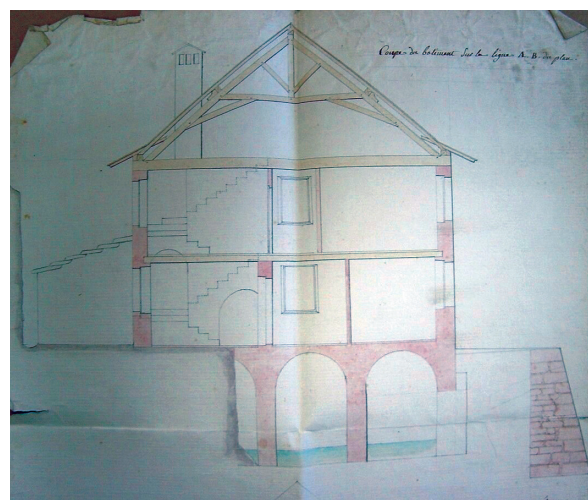


Figure 4 - Plan pour un bâtiment des bains de l'Échaillon, proposé par l'architecte Gaspard en 1818.

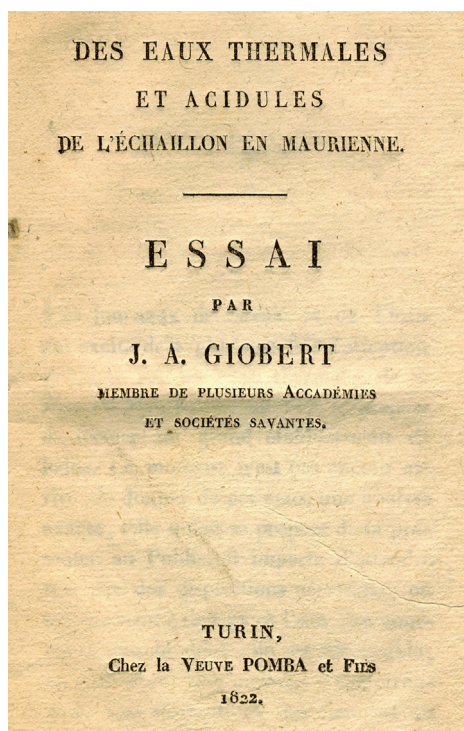


Figure 5 - Rapport du Dr Giobert pour appuyer les projets de valorisation des eaux thermales de l'Echaillon, 1822.

eaux des sources thermales ne soient contaminées en se mélangeant avec celles de l'Arc. Ils demandent à M. Molinati, ingénieur, de dresser un devis et des plans pour creuser dans le rocher un canal d'écoulement. Présenté le 3 mai 1823, le devis s'élève à 3 500 francs (Figure 6) Les moyens financiers manquent toujours. En 1823, des conseillers proposent d'inscrire au budget la somme de 2 000 francs, de vendre la plaine de Longefan, ainsi que d'émettre des actions et de contracter un emprunt. Ces propositions resteront sans suites. Les projets sont à nouveau oubliés.

En 1834, une société par actions de 250 livres est créée par la ville de Saint-Jean-de-Maurienne sous le nom de Société des eaux thermales d'Échaillon. Une souscription est ouverte. Le roi lui-même offre 3000 livres sur sa cassette. La souscription recueille 40 000 livres. Le projet échoue. En 1837, la fréquentation des bains par des « étrangers » s'élève à : 175 Savoisien ; 20 Français ; 15 Italiens soit 210 personnes).

En 1849, M. Alain Robbino, négociant à Saint-Jean-de-Maurienne propose d'acquérir les sources. Les conditions qu'il pose se révèlent inacceptables pour la ville.

Le 10 juin 1851, le chevalier Mathieu Bonnafous annonce la création d'une nouvelle société des eaux thermales de l'Échaillon, au capital de 20 000 livres divisé en 100 actions. Monsieur Bonnafous décède quelques mois plus tard, ses héritiers décident de ne pas poursuivre leur collaboration.

Le 14 juillet 1855, une nouvelle société est créée sous l'égide du conseil municipal qui accepte de céder pour 28 ans les eaux thermales et les emplacements environnants. Cette société achète en 1863 les constructions existantes : une petite maison servant d'habitation pour le gérant, de débit de boisson et une baraque en planches contenant quelques robinets et 4 baignoires. L'établissement vivote jusqu'au 1^{er} mars 1883, époque à laquelle la commune de Saint-Jean-de-Maurienne décide de prendre les mesures nécessaires pour pouvoir exploiter elle-même les eaux ou pour pouvoir les vendre à un concessionnaire. Elle fait analyser les eaux par l'Académie de médecine de Turin et en 1881 par M. Carnot, ingénieur de l'Ecole des Mines. Au mois d'août 1885, l'Académie délivre un avis favorable à l'exploitation des sources de l'Échaillon et le 3 septembre suivant, M. Legrand, le ministre du commerce, donne l'autorisation d'exploiter et de vendre l'eau minérale de l'Échaillon.

Les analyses donnent sensiblement les mêmes résultats que ceux trouvés par M. Giobert à l'exception de la présence de silice. Elles ne mentionnent pas non plus les iodures de sodium et de magnésium trouvés en 1855 par M. Calloud.

A la lecture de ces rappels, on constate que la ville de Saint-Jean-de-Maurienne n'a jamais ménagé ses efforts pour obtenir la construction d'une station thermale à l'Échaillon mais que la malchance s'est constamment acharnée sur les projets. Pourtant on rêve toujours à Saint-Jean-de-Maurienne car « la Tarentaise voisine, moins favorisée que la Maurienne par sa situation topographique, a vu, grâce au zèle patriotique de ses habitants, surgir dans le coin le plus agreste de son territoire des thermes jusqu'ici ignorés et aujourd'hui fréquentés par une foule d'étrangers » (M. Deschamps, syndic de Saint-Jean lors du conseil municipal du 31 août 1834).



Figure 6 - « Elévation ou façade principale du bâtiment proposé aux sources thermales de l'Échaillon en Maurienne contenant deux projets dont celui à droite terminé par un pavillon en saillie et celui à gauche contenant la simple continuation des arcades ». Projet de 1823 par B. Brunat.

II - LA STATION THERMALE

Le 13 août 1892, le conseil municipal de Saint-Jean-de-Maurienne se réunit en « conseil dédoublé », Le maire donne lecture de deux propositions de concession des eaux thermales de l'Échaillon faites, l'une par M. Lhetevenon, employé de la Société des Plâtrières du Sud-Est, l'autre par M. Pitivano Joseph, négociant à Paris. Le 19 septembre, M. Laymond, rapporteur de la commission de l'Échaillon, annonce que le candidat choisi est M. Pitivano, et expose les clauses d'une proposition de concession en 7 articles et deux principes. Un principe économique : la ville de Saint-Jean-de-Maurienne concède les terrains, constructions, sources d'eau thermales et droits géologiques qu'elle possède sur le hameau de l'Échaillon, lieu-dit Aux Bains, près de Saint-Jean-de-Maurienne, à titre gratuit, sans indemnité ni redevance, pour une période de 90 ans à dater de l'autorisation préfectorale, aux charges et conditions suivantes : M. Pitivano devra dans les deux premières années de sa concession avoir terminé tous les travaux nécessaires pour le captage et l'isolement des sources thermales et dans un délai de cinq ans, avoir construit et mis en état d'exploitation un établissement thermal d'une valeur minimale de 100 000 francs, non compris les frais de captage des eaux (Figure 6). A l'expiration du délai de 90 ans, ou faute de M. Pitivano de s'être conformé à l'une quelconque des clauses prévues, il sera déchu de plein droit du bénéfice de la concession. Tous les terrains, les constructions pour le captage des eaux et pour l'établissement thermal ainsi que la deserte resteront la propriété de la ville de Saint-Jean-de-Maurienne, sans indemnités et ce lors même que ces constructions auront été établies sur des terrains n'appartenant pas à la ville. Un principe social : M. Pitivano devra tenir l'établissement ouvert toute l'année, y donner gratuitement à des jours et heures déterminés, des bains aux malades indigents du département de la Savoie, aux militaires malades en résidence ou de passage en cette ville, ainsi qu'aux membres effectifs de la Société de Secours Mutuels de Saint-Jean-de-Maurienne. Il devra donner à moitié tarif des bains aux habitants de Saint-Jean-de-Maurienne, ainsi qu'aux employés du chemin de fer en station ou de passage pour leur service en cette ville. Le contrat définitif de cession est signé le 25 avril 1893, entre la municipalité qui considère que « *l'établissement thermal a toujours été une cause de dépenses sans profit pour la ville et que c'est faire preuve de bonne administration que d'accepter des propositions qui sauvegardent les intérêts de la ville* » et M. Pitivano.

Les problèmes

Le 12 avril 1895, le conseil municipal constate que le délai de deux ans accordé à M. Pitivano pour réaliser les captages des sources est expiré depuis le 25 mars

précédent et que le concessionnaire ne s'est pas entièrement conformé au traité. Il convient donc de le mettre en demeure d'exécuter les clauses et conditions de la convention et si, à l'expiration du délai fixé, il ne s'y est pas conformé, de lui signifier sa déchéance.

Au mois de juin, M. Pitivano proteste par voie d'huissier contre la délibération prise à son encontre et affirme que les travaux ont bien été réalisés par les établissements Edouard Lippmann et C^{ie} de Paris, mais ceux-ci reconnaissent dans un rapport publié en juillet que leurs travaux n'ont donné « *aucun résultat appréciable* ». Le procédé utilisé était trop simple en regard des difficultés à recueillir l'eau de source. Le conseil vote alors la déchéance de M. Pitivano de sa concession et l'invite à délaisser les lieux sans rien enlever de ce qui s'y trouve et à remettre les clefs au maire. Le 23 août, la ville décide après autorisation de la préfecture de se pourvoir en justice contre M. Pitivano et contre M. Labaret, le gérant actuel. Le 9 octobre, M. Pitivano informe par lettre la ville qu'il a chargé maître Frasson-Garet, notaire de traiter en son nom la question de l'Échaillon. Le conseil municipal refuse toute concession et invite le maire à lancer la procédure judiciaire. Au mois de janvier suivant, le conseil municipal apprend que M. Pitivano négocie avec M. Cudet, capitaine de gendarmerie en retraite, l'achat de sa concession. Au mois de mars 1896, la commission spéciale des eaux thermales de l'Échaillon est convoquée pour élaborer avec le comité provisoire de la société en formation un nouveau traité de concession des eaux qui remplacerait celui conclut avec M. Pitivano. Le document déclare en préambule la déchéance de M. Pitivano. Les 15 articles reprennent sensiblement les termes du précédent traité. Il est ajouté qu'une étude des travaux nécessaires sera faite par des géologues compétents et qu'ils seront dirigés par un ingénieur des mines désigné par la société et agréé par le conseil municipal. A la fin de ces travaux ou dans une période de six mois après l'expiration des deux ans, l'ingénieur devra faire un rapport avec plans à l'appui, établissant que les eaux sont recueillies en rocher et sans mélange avec les eaux de l'Arc. La période de cinq ans démarrera seulement à l'issue de l'approbation de ce rapport. La cession comprend également un nouveau terrain désigné sous le nom de « *cimetière aux chevaux* », ayant la forme d'un triangle sis en face du pont de l'Échaillon, sur la rive droite de la rivière. La société ne devra plus construire un établissement d'une valeur de 100 000 francs mais devra avoir construit, aménagé et mis en état d'exploitation dix cabines pour bains et une salle de douche. Le nouveau concessionnaire prendra à sa charge les frais éventuels de procès avec M. Pitivano. Le projet est adopté à l'unanimité par le conseil municipal le 18 mars. On envisage de surseoir aux poursuites contre M. Pitivano. Malheureusement la société est en faillite avant même d'avoir été formée et M. Pitivano

reprend son traité. Le 13 août, M. Deléglise, avoué de la ville, informe le conseil que le procès sera plaidé à l'audience du 17 octobre prochain. Le 1^{er} décembre, le tribunal demande la nomination d'experts pour vérifier la valeur des travaux réellement effectués par M. Pitivano. MM. Kilian, professeur de géologie à Grenoble et Delebergue sont nommés et agréés par les parties. Ce dernier est rapidement remplacé par M. Revil, pharmacien-géologue à Chambéry. Dans un deuxième temps, M. Badoureau, ingénieur en chef des Mines obtient du ministre l'autorisation de participer à l'expertise. Le rapport ne sera publié qu'en 1902 par l'imprimerie Allier de Grenoble. Le 10 octobre 1899, M. Pitivano, par la voix de son avoué, M. Thibiéroz, laisse entendre qu'il se désisterait de sa concession. Le conseil municipal émet l'avis unanime d'accepter les conditions proposées par M. Pitivano et charge M. Deléglise, avoué de la ville, de régler définitivement l'affaire. Le traité signé le 19 décembre 1900 stipule que M. Pitivano n'a pas réalisé les travaux prévus dans les délais impartis et qu'en conséquence tous les terrains, constructions et travaux quelconques acquis ou faits par le concessionnaire reviennent à la ville sans indemnités ainsi qu'il était prévu dans le contrat de concession. Le texte précise que le procès entre les deux parties est terminé.

Deux candidats, M. Joseph Tronel et M. Jean Frasse, demandent à la ville par lettre, les conditions auxquelles elle céderait à bail l'établissement thermal. Les conseillers proposent qu'il soit fait une location qui serait résiliable au gré de la ville dans le cas où une société présentant des garanties sérieuses se proposerait. La ville ayant repris possession de l'établissement thermal demande à M. Dubetier, architecte, un devis pour travaux d'entretien et pour supprimer le hangar en planche dont « *l'effet est disgracieux et l'entretien coûteux* ». Elle demande également des devis pour fournir le mobilier nécessaire à la marche de l'établissement ainsi que pour l'installation d'une roue hydraulique pour actionner la pompe électrique de l'établissement. Le coût de l'ensemble des devis est de 7119 francs.

En mai 1901, M. Tronel propose par lettre de prendre l'établissement thermal en l'état actuel et d'en assumer les frais de réparation. Le conseil municipal charge la commission des bains de traiter directement avec M. Tronel les conditions de la location qui ne pourra être

que mensuelle et résiliable au gré du conseil municipal et dont le prix est fixé à cinq francs par mois. M. Tronel accepte les conditions. Pour l'affermage des bains, une solution provisoire est trouvée le 27 juin : M. Tronel est déclaré gérant, pour une période allant jusqu'au 1^{er} février 1902, moyennant une somme de 400 francs. A cette date, l'affermage sera mis aux enchères. Mais au mois d'octobre, sur la proposition d'un des membres de la commission qui « *aurait de nouvelles informations* », le conseil municipal décide d'annuler sa délibération du 27 juin, revient sur sa décision de traiter de gré à gré, demande une insertion de l'offre dans le journal local et charge la commission de « *traiter au mieux les intérêts de la ville* ». Le 6 décembre 1901, le conseil municipal écoute M. Deléglise, rapporteur de la commission des bains. Il remercie d'abord M. Tronel pour sa bonne gestion de l'établissement thermal. Il expose ensuite que le choix de la commission s'est porté sur le projet de MM. Girard et Lullin qui font entrevoir la création d'une société pour l'exploitation des sources thermales de l'Échaillon. M. Thibiéroz fait connaître les renseignements favorables qui lui ont été fournis par ses collègues de Paris et de Dijon sur les personnes qui doivent entrer dans la combinaison proposée par M. Girard. A la demande de neuf des membres, le vote se fait à bulletin secret sur le choix du candidat qui disposera d'un bail de neuf ans à compter du 1^{er} février 1902. M. Tronel obtient 11 voix, MM Girard et Lullin cinq voix. Le conseil municipal, échaudé par les précédents échecs, a voté contre l'avis de la commission, privilégiant une solution locale. M. Tronel est déclaré concessionnaire avec toutes les clauses et conditions du bail élaborées par la commission et celles contenues dans la lettre qu'il a adressée le 4 décembre au conseil municipal.

Le 4 mars 1902, M. Dubetier présente son projet de bâtiment devant servir de café-restaurant. La dépense s'élève à 5 985 francs. M. Tronel n'a prévu que 4000 francs dans son budget. La ville, considérant que toutes les constructions et améliorations lui resteront acquises à l'issue du bail, décide de payer l'excédent de la dépense à condition qu'elle n'excède pas 2 000 francs, soit au moyen des ressources disponibles soit au moyen d'un emprunt. M. Tronel s'engage à payer l'intérêt de 4 % sur la somme qui lui sera avancée jusqu'à l'expiration de son bail.

III - LES NOUVEAUX BAINS

Le projet de station thermale semblant définitivement oublié, les nouveaux bains de l'Échaillon commencent à prendre forme. La ville fait construire sur l'emplacement de l'ancienne baraque en planches, un bâtiment fonctionnel comprenant une salle de douches et huit cabinets de bains, munis d'une baignoire, de robinets et de tout ce qui est utile aux baigneurs. Un robinet d'eau thermique potable est placé dans le corri-

dor. Une sonnerie électrique sera placée en août 1902. M. Tronel a fait niveler et sabler l'esplanade ; la ville a demandé et obtenu de la commune d'Hermillon, l'autorisation de déplacer le chemin actuel de l'Échaillon, le long des platanes et de l'établir sur le sol occupé par la canalisation ; la route qui passe devant les bâtiments et qui longe la rivière a été élargie et garnie d'une grille en fer.

En 1902, la SHAM publie une étude intitulée « *Savoie, Échaillon, voie romaine et eaux thermales* » écrite par l'abbé Truchet. La ville décide d'en faire tirer 2000 exemplaires pour les utiliser à faire connaître la station thermale soit en les vendant, soit en les envoyant aux médecins et aux diverses stations balnéaires.

Au mois de février 1903, le conseil municipal demande à la commission de l'Échaillon de s'assurer que les sources thermales sont bien inscrites sur le cadastre comme propriété de Saint-Jean-de-Maurienne tout en étant sur la commune d'Hermillon. Il s'avère que cette rectification n'a jamais été faite.

L'acte de partage entre les deux communes daté du 10 août 1824 est ressorti et une copie est envoyée à M. le géomètre en chef du cadastre pour qu'il effectue la modification.

Lors de la sortie annuelle de la SHAM le 27 juillet 1905, le compte rendu décrit le lieu : « *Un coquet petit établissement thermal a surgi de terre, avec un hôtel pour les baigneurs, là où l'on ne voyait qu'une pauvre cabane ; les fondrières se sont comblées et aplanies pour former la petite place des jeux et des fêtes champêtres. Ici, la route s'est élargie aux dépens d'un rocher ; là, des champs, des prairies, des jardins ont remplacé les marécages* » (A. A., 1908).

IV - LA NOUVELLE SOCIÉTÉ DES EAUX THERMALES DE L'ÉCHAILLON

Au mois de mars 1909, le maire M. Vuillermet annonce au conseil municipal qu'une demande de concession de l'établissement thermal et des cures de l'Échaillon vient d'arriver, émanant de MM. Diedisheim Lazare et Bon Nestor, domiciliés à Paris. Un projet de traité a été élaboré par la commission des contentieux. Il prévoit une première période de cinq années pendant lesquelles les sources devront être captées et isolées des eaux de l'Arc. Vingt cabines de bains devront être meublées et aménagées ainsi que 2 salles de douche, une par sexe. À l'issue de cette période et en cas de succès, le bail sera automatiquement prolongé en bail de 99 ans. Les seules différences notables sont la suppression des bains à demi tarif pour les employés du chemin de fer et la volonté affichée de favoriser la création de tout établissement ayant pour but la distraction et les agréments des baigneurs. Toutes les autorisations d'ouverture sont accordées par avance par la municipalité. Il est en effet prévu de bâtir non seulement un établissement thermal moderne mais une vraie ville d'eau avec toutes les dépendances : hôtels, cafés, buvettes, restaurant, casino, et théâtre accessibles à toutes les bourses. Quelques semaines plus tard, MM. Diedisheim et Bon viennent à Saint-Jean-de-Maurienne accompagnés d'un ingénieur, d'un architecte et du D^r Danjou, professeur à la faculté de médecine de Nice qui écrira une longue lettre au maire de Saint-Jean contenant de nombreuses et intéressantes propositions. Il explique que le captage et l'isolement des griffons d'eau thermale ne peuvent se faire qu'aux mois de septembre et d'octobre, quand l'Arc n'est pas grossi par les eaux de la fonte des neiges. Il faut également attendre que ces travaux aient été exécutés avant de mettre l'eau en bouteille. Il propose ensuite de faire de Saint-Jean-de-Maurienne une station climatique et minérale, afin d'attirer la double clientèle. Pour cela, il estime qu'il faut réaliser un établissement thermal à l'Échaillon, où les malades utiliseraient les « *précieuses eaux thermales* », et des lieux de loisirs à Saint-Jean-de-Maurienne, alors que les malades coucheraient dans des hôtels construits sur le plateau d'Al-

biez où ils pourraient bénéficier de bains d'air pur et de lumière et manger les succulents fruits et légumes qui poussent en abondance en Maurienne. Dans la deuxième partie de sa lettre, il invite la commune à réaliser un certain nombre d'améliorations en vue de la propreté et de l'hygiène des endroits publics et des maisons, par réalisation de tout à l'égout, de water-closet modernes, de jardins et de pelouses, de moyens de communication et de balisage de promenades dans les environs. Il propose aussi la création de colonies scolaires, « *Les enfants à la montagne* », l'organisation par toutes les communes de l'arrondissement d'un service hospitalier d'été pour les indigents, et l'établissement à Saint-Jean-de-Maurienne d'un syndicat d'initiative intercommunal. Il termine sa lettre en annonçant que le VIII^e congrès international d'hydrologie, climatologie, géologie et physiothérapie doit se tenir à Alger du 4 au 10 avril 1909 et qu'il y présentera un sujet sur la radioactivité des eaux thermales de l'Échaillon. « *Le radium se présente aujourd'hui comme un sauveur et les plus enthousiastes clament à tous vents que c'est bien là la panacée qui, du jour au lendemain supprimera, quand on saura et pourra l'utiliser judicieusement, toute cause de douleurs et de misère physiologique en ce monde* ». Des études menées par le baron Blanc de l'université de Rome ont montré que les sources de l'Échaillon présentent, lorsque l'on approche un électromètre, une radioactivité de 936 volts par heure, ce qui en fait les eaux les plus radioactives de toute la Savoie. Cette radioactivité est de l'ordre de celle du radium et présente comme caractéristique d'être durable. Le docteur Danjou par ses travaux prouve que l'activité radioactive est en fait due à du radio-thorium. Il fera enfin remarquer que, curieusement, les bassins successifs établis pour récolter les eaux ont été construits à l'écart de la source Caroline, la plus chaude. Il donne comme explication un débit supérieur dans la source Victoria et la découverte d'une autre source froide, nommée source Fodéré, plus indiquée comme eau de boisson.

Le 13 juin 1909, la Société des bains de l'Échaillon

est définitivement constituée sous la forme d'une association en participation dont M. Diedisheim est seul gérant et le 1^{er} décembre, le bail notarié est signé chez maître Frasson-Gorret, notaire en la ville. Le bail de M. Tronel est résilié à cette date.

Les 18 et 25 novembre 1911, un journaliste nommé Emile Dufreney consacre deux longs articles à la station thermale d'Échaillon dans le journal des Savoyards de Paris. Dans le premier, il décrit dans de grandes envolées lyriques la géographie et le climat de la Maurienne : *« Les matinées et les soirées ont énormément d'attrait et de saveur par le calme de l'atmosphère, la douceur de la température, la limpidité de l'air, la pureté du ciel. Dans la plaine, les chaleurs sont mitigées très heureusement par le Périodique, vent à courant réguliers. Il ne nous souvient pas d'avoir vu dans toute la Savoie, de plus belles vignes que celles de Saint-Jean-de-Maurienne. Les pampres dorés où s'accrochent de succulents raisins, disaient mieux que toute autre chose la qualité du sol et du climat »*. Même l'Arc a droit à une description poétique : *« L'Arc torrentueux roule son eau sombre et ses galets étincelants. En temps ordinaires c'est un murmure imprécis, que l'écho des monts renforce légèrement. Mais de temps à autre, un fracas plein de tumulte s'élève de la rivière grondante ; la vallée s'emplit de bruits, les roches torturées du lit font éclater en mousses blanches les eaux précipitées et la rumeur après avoir ascensionné les gradins de l'arène, va s'étendre dans les pelouses des hauts pâturages, soulignant d'un perpétuel leitmotiv, les tintements cristallins des clochettes »*. Dans le second article, il parle du projet de station thermale, en cite les administrateurs, donne tous les détails techniques (34 cabines de bains et deux grandes salles de douche au rez-de-chaussée ; 50 chambres et les locaux administratifs au 1^{er} étage). Le projet financier est détaillé. Le budget prévisionnel basé sur 7 mois d'exploitation et 6 bains par jour et par cabine fait apparaître, charges déduites, un bénéfice net de 60 000 francs ce qui correspond à un rendement de 12 % pour les actionnaires. Dans ces prévisions ne sont pas compris les bénéfices

rapportés par le bar, la vente des boues et l'exploitation des jeux. Un plan de l'établissement réalisé par l'architecte L. Perreau, de Dijon, est joint à l'article qui se termine par des propos plein d'optimisme sur l'avenir de la station thermale (Figure 7).

Au mois de février 1912, surgit un problème avec la Société d'Allais et de la Camargue qui souhaite relier sa nouvelle usine des Plans (située en amont de l'Échaillon, sur la rive gauche de l'Arc) à celle de l'Eau Salée nouvellement construite (située plus en aval, en rive gauche sur la commune de Pontamafrey), par une ligne électrique de transport d'énergie consistant en de gros câbles transportant 10 000 chevaux de force hydraulique. Elle sollicite des concessionnaires l'autorisation de placer sur la digue de l'Arc des supports de fils conducteurs. La Société des Bains qui est *« en bonne voie de réaliser les promesses faites dans l'acte de cession »*, s'oppose à cette proposition qui serait *« une gêne pour l'avenir de la station »*. Un compromis sera trouvé le 25 juin 1912. Les pylônes métalliques seront placés sur la digue longeant l'Arc, dissimulés derrière des arbres. En échange la Société d'Allais renforcera et entretiendra les digues.

En 1914, la guerre éclate. Les travaux n'ont toujours pas commencé.

Le 7 mars 1915, le conseil municipal décide de dénoncer le contrat en vertu de l'article 13 du bail. La société concessionnaire proteste, expliquant que la situation ne permet pas de faire les travaux et demande pour raison exceptionnelle une prolongation de bail de 5 ans. Le conseil municipal, conscient des problèmes posés par la guerre et pas certain de trouver un nouveau candidat, accepte à condition que d'ici le 15 mai, la société lui ait réglé les loyers et impositions dus au 1^{er} novembre 1914. L'accord portait jusqu'en 1919. Le 5 juin 1915, la commune, devant l'absence de résultats demande et obtient un jugement du tribunal de référés contre M. Diedisheim, annulant le bail de 1909 et nomme M. Jean Fay, avocat à Saint-Jean, administrateur de l'établissement thermal. Il exercera cette fonction jusqu'en 1921.

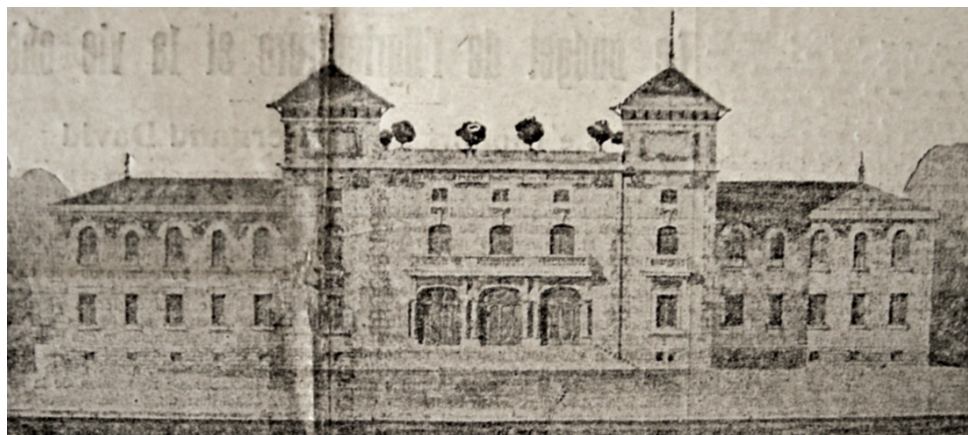


Figure 7 - Encore un projet grandiose qui ne verra jamais le jour : le bâtiment des thermes envisagé en 1911 par l'architecte Perreau.

V - LES ANALYSES DE 1920

En 1920, les professeurs Cluzet et Roques de la faculté de médecine de Lyon et le docteur Chevalier, agrégé de physique biologique, font une communication à l'Académie des Sciences. Leurs travaux font apparaître que la grande source chaude de l'Échaillon présente une double radioactivité radium-thorium. Particularité qui n'existe dans aucune autre source thermale française. Le thorium aurait des propriétés remarquables dans le traitement de l'anémie, de la leucémie et des rhumatismes. Cette particularité avait déjà été signalée en 1904, par un autre chercheur, le baron Blanc, docteur es sciences de la faculté de Rome. En 1923, le docteur Chevallier publie ses « *recherches sur la radioactivité des sources de l'Échaillon. Contribution à l'étude de l'émanation du thorium* ». L'eau est captée à cette époque dans 3 bassins : deux sont en maçonnerie, le bassin Chaud et le bassin Fodéré. Le troisième, plus petit, formé de dalles d'épaisseurs variables, est nommé bassin des Ducs de Savoie. A l'origine c'était le bassin le plus important ;

les deux sources qui l'alimentent ont aujourd'hui un débit très faible et les sédiments qui recouvrent ses parois ne montrent aucune radioactivité. Le bassin Fodéré est pollué par les eaux de l'Arc. L'étude porte sur le bassin Chaud formé d'une chambre souterraine d'une capacité de deux cents mètres cubes. La base de la chambre est percée d'orifices qui laissent échapper dans un bouillonnement continu de l'eau, des gaz non dissous et des matériaux solides en suspension dans l'eau. L'étude consiste à mesurer la radioactivité de ces différents constituants. Les résultats montrent que les sédiments possèdent une radioactivité qui croît pendant environ 10 minutes après leur introduction dans la chambre d'ionisation ; ils donnent naissance à une émanation qui présente les caractères de l'émanation du thorium ; leur radioactivité est très variable suivant le point de prélèvement dans le bassin. L'émanation du thorium est ensuite testée sur les voies respiratoires d'animaux, sur quelques bactéries et sur quelques maladies du sang chez l'humain.

VI - LA SOCIÉTÉ D'ÉTUDE DES EAUX ET SÉDIMENTS RADIOACTIFS DE L'ÉCHAILLON

Le 18 mai 1921, une Société d'étude des eaux et sédiments radioactifs de l'Échaillon, dont le siège est à Lyon, représentée par M. Joseph Magnin, négociant à Lyon et M. François Gravier, pharmacien à Saint-Jean-de-Maurienne, dépose à la mairie une demande de location des bains de L'Échaillon. La candidature ayant été agréée par le conseil municipal, un bail portant sur 6 années est signé le 1^{er} juin 1921. Semblable aux précédents, il prévoit un investissement de 500 000 francs, une location annuelle de 1500 francs la première année, 1800 francs la deuxième, 2000 francs la troisième et 2400 francs les suivantes. Seule différence notable, les mutilés et réformés de l'arrondissement jouiront de la gratuité des bains sur présentation d'un certificat médical et le nom de la société qui fait apparaître les termes sédiments et radioactivité. Pendant les années 1922 et 1923, la société procédera à un certain nombre d'études sur les travaux de captage des sources à effectuer. En 1924, la société d'exploitation demande à la commune de modifier certains points du bail. Ces modifications sont accordées en échange d'une augmentation des garanties et des pourcentages de reversions sur les bénéfices pour la ville.

En 1927, la Société d'études des eaux demande une prorogation de son bail de 6 ans pour lui permettre de « *mener à bonne fin les études entreprises et de réaliser les pourparlers en cours* ». Ils mettent en avant les progrès accomplis dans le débit des

sources et l'organisation des bassins. Les résultats obtenus sont très faibles par rapport aux prévisions, mais la crise économique impose de tout arrêter. La commune, consciente de cet état de fait, accorde un nouveau bail mais de 3 années seulement. Il expire le 1^{er} juin 1930 sans que la société ait réussi à réaliser une station thermale. Un industriel de Chambéry, M. Cetrat offre de se substituer à la Société d'études des eaux et sédiments radioactifs. Le conseil refuse cette proposition qui est « *susceptible de soulever des difficultés d'ordre juridique* ». Au mois de novembre, après un sursis de 6 mois, la commune refuse toute prorogation du bail et au mois de juin 1931, elle récupère les bains et le matériel. Une commission municipale est nommée pour faire l'inventaire et estimer les travaux nécessaires avant une nouvelle mise en location des locaux existants. L'établissement thermal est en très mauvais état. Un architecte, M. Carle est nommé pour préparer plans et devis de remise en état. Ces travaux s'avèrent d'autant plus nécessaires que le seul candidat à la reprise du bail, M. Jourdan refuse de payer la location de 2400 francs en raison de l'état de délabrement de l'ensemble et offre 3400 francs pour deux années. Le conseil accepte de transiger. Les devis de réparations s'élèveront à 33 600 francs.

Au mois de mars 1932, 8 candidats se présentent lors de l'adjudication des bains rénovés. L'élu, M. Antoine Peyrille offre 8000 francs par an de location. Son bail démarrera le 1^{er} juin 1932.

VII - LE CENTRE DE REEDUCATION FONCTIONNELLE

Au début des années 1960, les experts de la Sécurité Sociale prennent conscience que si l'on « *rééduque les accidentés* », la période d'invalidité diminue de façon considérable, l'utilisation d'eau thermique pouvant améliorer encore les résultats. Le centre de rééducation fonctionnelle de l'Échaillon est construit dans cette optique (Figure 8). Il remplace les vieux bâtiments de bains. Le complexe doit fonctionner selon deux principes : des équipements et personnels médicaux performants ; et des équipements hôteliers spartiates pour que les patients ne séjournent que le temps strictement nécessaire. L'architecte est M. Toulouse, de Saint-Jean-de-Maurienne. Des ingénieurs viendront pour effectuer les captages. Ils mettront en évidence le fait que l'eau perd une grande partie de ses qualités si on la laisse refroidir. Des baignoires sont construites pour remplacer l'ancien établissement de bains. Mais deux seulement sont alimentées par l'eau thermique. Les autres sont utilisées par le public qui vient s'y laver. La piscine de rééducation n'utilise pas les sources de l'Échaillon. Le centre ouvrira en novembre 1967. En 1970, les eaux thermales sont définitivement abandonnées en



Figure 8 - Le bâtiment du centre de rééducation fonctionnelle bâti sur le site des sources thermales (été 2009).

raison d'analyses mauvaises. Le bâtiment actuel doit être abandonné courant 2010 et rendu à la commune d'Hermillon qui en est propriétaire. Un nouvel établissement situé contre l'hôpital général de Saint-Jean-de-Maurienne, est actuellement en cours de construction.

VIII - ÉCHAILLON-LES-BAINS ET ECONOMIES D'ENERGIE

Le premier choc pétrolier avait provoqué en France une réaction vigoureuse visant à desserrer l'étreinte politique et pécuniaire exercée sur l'économie nationale par les combustibles importés. A cet effet, un effort de diversification des ressources a été entrepris, donnant priorité aux disponibilités nationales au nombre desquelles figure la géothermie. Cette géothermie est qualifiée de chaude si elle est recueillie à température élevée, dans des puisages en général profond, coûteux et peu nombreux ; de froide si les eaux sont recueillies à une température voisine d'une dizaine de degrés. Entre ces deux extrêmes se trouvent les eaux dites tièdes qui relèvent du thermalisme. La société d'Étude de Réalisation et d'Exploitation du tout électrique a été chargée dans le cadre d'une mission d'exploration exhaustive des potentialités géothermiques nationales d'étudier l'ensemble des cent cinquante stations thermales françaises. L'Échaillon en fait partie.

Les études réalisées en 1981 et 1984 montrent que pour la source Chaude, l'eau sort à une température de 41 °C si on la mesure bassin plein et de 42 °C bassin vide. Le débit est de 30 m³/h si l'on pompe l'eau au fur et à mesure de son émergence et de 0 m³ si l'on ne pompe pas car l'eau pèse alors sur l'émergence et entrave la sortie. Les analyses donnent les composants suivants pour un total de 5,8 grammes/litre, répartis en 4 groupes : Silice 1 % ; Chlorures (sodium, potassium) 63 % ; Bicarbonates (calcium, magnésium, protoxyde de fer) 12 % ; Sulfates (calcium, magnésium, sodium) 24 %. Cette matière est à la fois corrosive à cause du

sel et incrustante à cause du calcaire, ce qui nécessiterait des précautions dans l'emploi des matériaux. La radioactivité serait dans les textes anciens de 0,4 millicurie/litre à cause du radium et du thorium contenus dans l'eau, ce qui correspond aujourd'hui à 14800 becquerels/m³. A titre d'exemple, si on prend une baignoire remplie de 1000 litres d'eau de l'Échaillon et dedans un curiste qui y passe une heure, sachant que l'eau de la baignoire contient 0,4 millionième de gramme de radium, que cette radioactivité dissipera pendant ce temps une chaleur équivalente à la combustion de 700 milliardièmes de grammes de charbon, si on considère cette radioactivité comme « un bain », on peut la comparer à l'irradiation naturelle annuelle qui est de 20 bains, à une semaine en montagne à 2500 m qui vaut 20 bains, à une radiothérapie correspondant à 30 millions de bains. L'eau est-elle suffisamment radioactive pour avoir des effets thérapeutiques ? Une deuxième étude a ensuite été réalisée pour envisager de substituer dans le centre de rééducation fonctionnelle de l'Échaillon la chaufferie au fuel domestique. Les deux chaudières consomment en moyenne 130 m³ de fuel par an pour le chauffage des locaux, la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage de la piscine de rééducation. Le projet prévoyait de préchauffer par un échangeur statique l'air de déshumidification de la piscine et de chauffer jusqu'à 35 °C l'eau de la piscine et l'eau des sanitaires, et par une pompe à chaleur de porter à 60 °C les eaux préalablement préchauffées pour couvrir les besoins en

eau sanitaire et assurer le chauffage des locaux et l'air de balayage de la piscine. La chaudière à fuel apportant le complément de chaleur lorsque la température

extérieure descend en dessous de 5 °C. Cette solution permettrait d'économiser 85 % du volume de fuel annuellement consommé.

CONCLUSION

Au XVII^e siècle, le docteur Dominique Favre trouve aux eaux de l'Échaillon des « *succès merveilleux* » et les proclame « *spécifiques contre toutes les maladies* ».

En 1822, J.A. Giobert pense que du fait de leur caractère alcalino-méphitique, elles jouissent d'une grande vertu sur les concrétions calcaires formées par les acides uriques et phosphoriques et donc dans les maladies arthritiques. Elles sont également laxatives.

Le docteur Fantoni dit qu'elles sont purgatives, excitent l'appétit, rendent de la couleur au visage, fortifient, activent la circulation du sang et des humeurs, nettoient les glandes et les intestins, combattent efficacement l'hypocondrie, le catarrhe du poumon et le chlorose.

Le docteur Falcoz a constaté trois guérisons de jaunisse en buvant l'eau. Des femmes qui ont accouché, qui n'ont pas allaité leurs enfants et qui ont éprouvé une suppression subite du lait ainsi que des douleurs de l'hypogastre, ont été complètement guéries. Il prétend également avoir vu des guérisons de goitres, de tumeurs glandeuses, de scrofules, de dartres, fièvres intermittentes, rhumatismes chroniques et embarras gastriques.

En 1920, les professeurs Cluzet et Roques et le docteur Chevallier testent les effets du thorium dans l'anémie, la leucémie et les rhumatismes. Les résultats seraient remarquables.

Ces qualités ne suffiront pas à attirer les investis-

seurs susceptibles de créer la station thermale espérée.

La commune de Saint-Jean-de-Maurienne a toujours espéré pouvoir utiliser les eaux de l'Échaillon pour réaliser une station thermale. Cette opportunité économique paraissait importante pour créer des emplois, de la richesse et pour faire connaître une vallée souvent décriée sur le plan géographique (vallée encaissée au climat rude) ou sur le plan humain (crétins, goitreux des Alpes). La réussite des stations voisines d'Aix-les-Bains ou de Brides en Tarentaise laissait penser que cela était possible en Maurienne, sachant que les eaux étaient de qualité. La commune de Saint-Jean-de-Maurienne a toujours essayé de faciliter les projets proposés, mais ses moyens économiques étaient extrêmement limités. Les concessionnaires successifs sont arrivés avec des projets cohérents, mais ils ont rapidement déchanté devant la complexité que représentait le captage des sources, le manque d'infrastructures hôtelières et de loisirs. La localisation des sources, situées loin de la ville, au-delà de la rivière d'Arc dont le pont était fréquemment emporté par les crues de la rivière a sûrement été un autre facteur défavorable. Il n'existe pas d'étude sur la fréquentation des bains, mais il semble qu'elle soit toujours restée modeste, ce qui ne facilitait pas la vie des sociétés concessionnaires. L'existence de ces sources est même en train de disparaître de la connaissance populaire.

BIBLIOGRAPHIE

- A.A., 1843, Échaillon... Ton tour viendra, *Le Courrier des Alpes*, n° 91, 1^{er} août, p.3.
- A.A., 1908, Le cinquantenaire de la Société d'Histoire et d'Archéologie de la Maurienne, *Travaux de la SHAM*, 2^{ème} série, T. IV, 2^{ème} partie, 9-15.
- ARCHIVES de la ville de Saint-Jean-de-Maurienne : Délibérations du conseil municipal. Série D.
- BILLET A. et ABRIEUX (doc. recueillis par), 1861. Chartes du diocèse de Maurienne. Acad. Imp. de Savoie, Documents, vol. II, p 195-197.
- CHEVALLIER D^r. A., 1923. Recherches sur la radioactivité des sources de l'Échaillon. Contribution à l'étude de l'émanation du thorium. Actions biologiques et thérapeutiques. Lyon, imp. Bosc frères et Riou, 95 p.
- DANJOU G., 1909. Radioactivité des eaux thermales de l'Échaillon à Saint-Jean-de-Maurienne. Saint-Jean-de-Maurienne, imp. Vulliermet, 42 p.

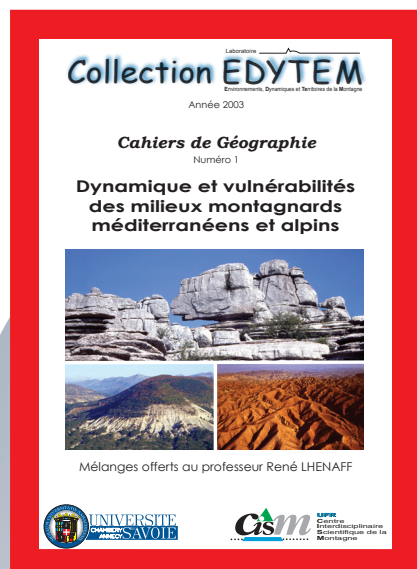
- GENELET P., 2009, La station thermale de l'Échaillon à Saint-Jean-de-Maurienne, un rêve, des désillusions. Les Savoyards et le tourisme depuis l'Annexion, Actes du 42^e congrès des Sociétés d'histoire de Savoie, Albertville 13-14 septembre 2008? p. 97-115.
- GIOBERT J.-A., 1822. Des eaux thermales et acidulées de l'Échaillon en Maurienne. Turin, chez la veuve Pomba et fils, 31 p.
- KILLIAN W. et REVIL J., 1902. Sur les sources minérales de l'Échaillon, près de Saint-Jean-de-Maurienne. Grenoble, imp. Allier.
- TRUCHET S., 1902. Savoie, Échaillon, Saint-Jean-de-Maurienne, voie romaine et eaux thermales, *Travaux de la SHAM*, 2^{ème} série, T II, 2^{ème} partie, p. 112-165 (tiré à part, imp. Vulliermet, Saint-Jean-de-Maurienne, 54 p.).

Collection **EDYTEM**

Laboratoire

Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne

ISSN 1762-4304



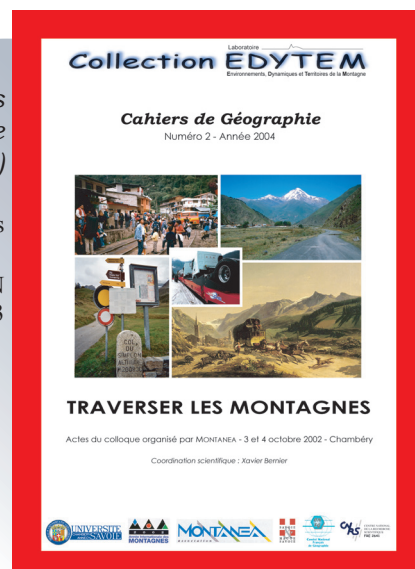
N° 1, Cahiers
de Géographie
(2003)

260 pages

ISBN
2-9520432-0-5

Dynamique et vulnérabilités des milieux montagnards méditerranéens et alpins

Mélanges offerts au Professeur René Lhénaff.



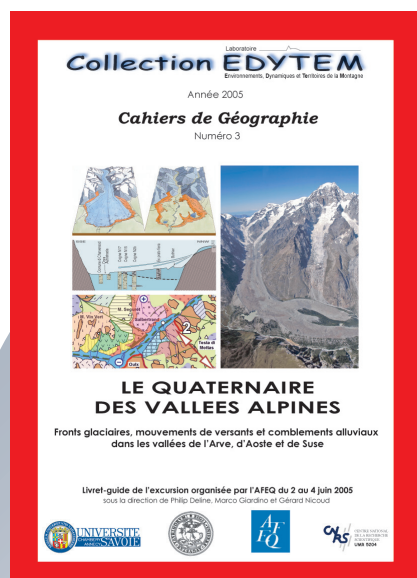
N° 2, Cahiers
de Géographie
(2004)

164 pages

ISBN
2-9520432-1-3

Traverser les montagnes

*Actes du colloque organisé par Montanée,
3 & 4 octobre 2002 à Chambéry.*



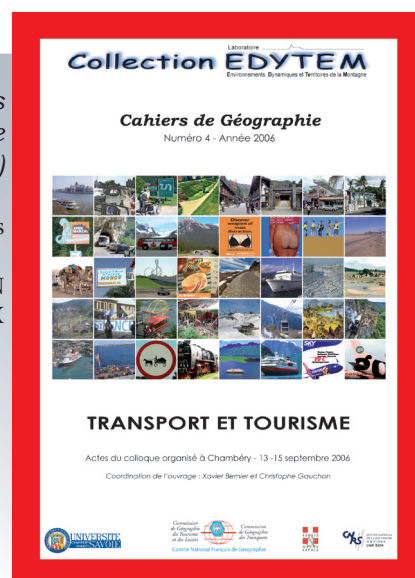
N° 3, Cahiers
de Géographie
(2005)

195 pages

ISBN
2-9520432-2-1

**Le quaternaire des vallées alpines.
Fronts glaciaires, mouvements de versants
et comblements alluviaux dans les vallées de
l'Arve, d'Aoste et de Suse**

*Livret-guide de l'excursion organisée par l'AFEQ
du 2 au 4 juin 2005.*



N° 4, Cahiers
de Géographie
(2006)

300 pages

ISBN
2-9520432-3-X

Transport et Tourisme

*Actes du colloque organisé à Chambéry
du 13 au 15 septembre 2006.*

Collection **EDYTEM**

Laboratoire
Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne

ISSN 1762-4304

Collection **EDYTEM**
Laboratoire
Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne
Cahiers de Géographie
Numéro 5 - Année 2007



L'AVEN D'ORGNAC
VALORISATION TOURISTIQUE, APPORTS SCIENTIFIQUES

Coordination scientifique : Jean-Jacques DELANNOY, Christophe GAUCHON et Stéphane JAILLET

*N° 5, Cahiers
de Géographie
(2007)*

180 pages couleur

ISBN
2-9520432-4-8

*N° 6, Cahiers
de Paléo-
environnement
(2008)*

288 pages couleur

ISBN
978-2-9520432-8-1

Collection **EDYTEM**
Laboratoire
Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne
Numéro 6 - Année 2008

Cahiers de Paléoenvironnement



DU CLIMAT À L'HOMME
DYNAMIQUE HOLOCENE DE L'ENVIRONNEMENT
DANS LE JURA ET LES ALPES

Actes du colloque GOR JURALP organisé à Aix-en-Provence les 15 et 16 novembre 2007
Coordination de l'ouvrage : Marc Desmet, Michel Magny et Florence Mocci



**L'Aven d'Orgnac, valorisation touristique,
apports scientifiques**

**Du climat à l'homme :
Dynamique holocène de l'environnement
dans le Jura et les Alpes**

*Actes du colloque organisé à
Aix-en-Provence les 15 et 16 novembre 2007.*

Collection **EDYTEM**
Laboratoire
Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne
Numéro 7 - Année 2008

Cahiers de Géographie



KARSTS DE MONTAGNE
GÉOMORPHOLOGIE, PATRIMOINE
ET RESSOURCES

Actes du colloque organisé à Sion (Suisse) le 15 septembre 2006
dans le cadre des journées de l'Association Française de Karstologie

Coordination de l'ouvrage : Fabien Hobléa, Emmanuel Reynard et Jean-Jacques Delannoy



*N° 7, Cahiers
de Géographie
(2008)*

180 pages couleur

ISBN
978-2-9520432-9-8

*N° 8, Cahiers
de Géographie
(2009)*

250 pages couleur

ISBN
978-2-918435-00-6

Collection **EDYTEM**
Laboratoire
Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne
Numéro 8 - Année 2009

**Cahiers de
Géographie**

**NEIGE et GLACE
de MONTAGNE**
Reconstitution, dynamique, pratiques

Coordination
Philip Delne
et Ludovic Ravanel



**Karsts de montagne :
Géomorphologie, patrimoine et ressources**

**Neige et glace de Montagne
Reconstitution, dynamique, pratiques**

*Actes du colloque organisé à Sion (Suisse)
le 15 septembre 2006.*

Collection **EDYTEM**

ISSN 1762-4304

Laboratoire _____
Environnements, Dynamiques et Territoires de la Montagne



N° 9 (2009)

112 pages couleur

ISBN

978-2-918435-01-3

L' hydrothermalisme en domaine continental : Fonctionnement, ressource et patrimoine

*Actes de la séance spécialisée de la Société Géologique
de France organisée à Aix-les-Bains et Le Bourget-du-
Lac les 23-24 octobre 2008*

à paraître :

N° 10 (2010)

Espaces protégés

Acceptation sociale et conflits environnementaux

*Actes du colloque organisé à Chambéry
du 16 au 18 septembre 2009.*

à paraître :

N° 11 (2010)

Panorama de la dendrochronologie en France

*Actes du colloque organisé à
Dignes-les-Bains du 8 au 10 octobre 2009.*

à paraître :

N° hors série

La Mer de Glace Objet d'art, objet de science

*Un livre pour un public de connaisseurs, à la recherche
d'informations précises et très intéressés
par les documents anciens.*

COMPLETEZ VOTRE COLLECTION

	Prix du N°	Frais de port
CAHIERS SAVOISIENS DE GÉOGRAPHIE		
N° 1 (1997) : Transports et développement en Pays de Savoie	10 €	3 €
N° 2 (1999) : Livret guide des excursions Grands Causses - Vercors	épuisé	
N° 3 (2000) : La géographie des risques dits «naturels» entre géographie fondamentale et géographie appliquée	10 €	3 €
N° 4 (2001) : Identités et territoires	10 €	3 €

COLLECTION EDYTEM		
N° 1 (2003) : CAHIERS DE GÉOGRAPHIE Dynamique et vulnérabilités des milieux montagnards méditerranéens et alpins	15 €	3 €
N° 2 (2004) : CAHIERS DE GÉOGRAPHIE Traverser les Montagnes	15 €	3 €
N° 3 (2005) : CAHIERS DE GÉOGRAPHIE Le Quaternaire des vallées alpines *	épuisé *	
N° 4 (2006) : CAHIERS DE GÉOGRAPHIE Transport et Tourisme	15 €	3 €
N° 5 (2007) : CAHIERS DE GÉOGRAPHIE L'Aven d'Orgnac, valorisation touristique, apports scientifiques	15 €	3 €
N° 6 (2008) : CAHIERS DE PALÉOENVIRONNEMENT Du climat à l'homme : Dynamique holocène de l'environnement dans le Jura et les Alpes	15 €	3 €
N° 7 (2008) : CAHIERS DE GÉOGRAPHIE Karsts de montagne : Géomorphologie, patrimoine et ressources	15 €	3 €
N° 8 (2009) : CAHIERS DE GÉOGRAPHIE Neige et glace de montagne : reconstitution, dynamique, pratiques	épuisé *	
N° 9 (2009) : L'hydrothermalisme en domaine continental : Fonctionnement, ressource et patrimoine	15 €	3 €

* Numéro épuisé, disponible sur le site web du laboratoire : <http://edytem.univ-savoie.fr/>

Pour recevoir ces publications, adressez votre commande à :

Laboratoire EDYTEM, secrétariat, Université de Savoie, Campus scientifique,
F 73376 Le Bourget du Lac Cedex

accompagnée d'un chèque (à l'ordre de M. l'Agent Comptable de l'Université de Savoie), ou d'un mandat administratif.

L' HYDROTHERMALISME en DOMAINE CONTINENTAL

Fonctionnement, ressource et patrimoine

Sommaire

Editorial

Introduction

Liste des participants au colloque et des auteurs

Blavoux B. - Les structures à l'origine du patrimoine thermal français et leur fonctionnement.

Indications pour la protection de la ressource.

1 - Fonctionnement et ressource

Bouabdellah M. - Les paléo-karsts hydrothermaux à remplissage de sulfures du district de Touissit-Bou Beker (Maroc nord oriental).

Origine(s) et implication(s).

Boushaba A. et Marignac C. - La nature des fluides hydrothermaux des tourmalinites du massif granitique permien du Ment (Maroc central). Couplage de la minéralogie des tourmalines et de l'étude des inclusions fluides.

Gasquet D. et Cheilletz A. - L'hydrothermalisme : un phénomène cyclique dans les temps géologiques.

Conséquences pour la prospection minière au Maroc.

2 - Ressource et patrimoine

Desmichel P. - Les gares ferroviaires, un patrimoine thermal à part entière.

Le cas de l'Auvergne et des Pyrénées occidentales.

Beaudéan C. - Parc et thermalisme en milieu transfrontalier. Influences et dissemblances dans un contexte franco-allemand.

Gauchon C. - Les grottes, éléments du patrimoine des stations thermales. Le cas d'Aix-les-Bains.

Raynal C. et Lefebvre T. - Le Solarium tournant du Dr Saidman . Un complément à la cure thermique d'Aix-les-Bains.

Geneletti P. et Aspod J. - La station thermale et les eaux de l'Échaillon à Saint-Jean-de-Maurienne.

La «Collection Edytem»
a pour objet de mettre en avant
l'apport de la géographie, de la géologie
et des sciences de l'environnement
dans l'étude des milieux et territoires
de montagne.

Déclinée en «numéros thématiques», elle
met en avant les travaux réalisés au sein
du laboratoire Edytem et les résultats
de ses programmes et actions
de recherche.

Prix 15 euros

